

日本国特許庁 21.6.2004
JAPAN PATENT OFFICE

BEST AVAILABLE COPY

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2004年 1月 26日

出願番号 Application Number: 特願2004-016551

[ST. 10/C]: [JP2004-016551]

RECEIVED
12 AUG 2004
WIPO PCT

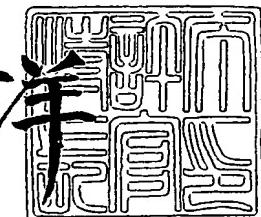
出願人 Applicant(s): 日本電信電話株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 7月 30日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川洋



【書類名】 特許願
【整理番号】 NITH156782
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G09G 5/36
G09G 5/38
H04N 13/04
G06F 3/14
G02B 27/22

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 國田 豊

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 陶山 史朗

【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】
【識別番号】 100083552
【弁理士】
【氏名又は名称】 秋田 収喜

【選任した代理人】
【識別番号】 100103746
【弁理士】
【氏名又は名称】 近野 恵一
【電話番号】 03-3893-6221

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 014579
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲**【請求項 1】**

異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、観察者から見て異なった奥行き位置にある複数の画像表示面を前記観察者が見る視点位置を設定するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成するステップと、前記生成した2次元画像を前記各表示面に表示することで前記被写体の3次元像を提示するステップとを有する3次元画像表示方法であって、

前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点（以下、投影点という）と対応する前記取得した画像上の点（以下、対応点という）の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率（以下、存在確率という）を決定するステップとを有し、

前記2次元画像を生成するステップは、前記投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を、前記投影点が存在する投影面と対応する前記画像表示面上の点（以下、表示点という）の色情報または輝度情報、及び存在確率に変換して前記2次元画像を生成し、

前記被写体の3次元像を提示するステップは、前記各表示点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に応じた輝度で表示することを特徴とする3次元画像表示方法。

【請求項 2】

前記複数枚の画像を取得するステップは、複数の異なる視点から前記被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定するステップは、前記投影点と対応する対応点間の相関度を求めるステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の相関度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定するステップとを有することを特徴とする請求項1に記載の3次元画像表示方法。

【請求項 3】

前記複数枚の画像を取得するステップは、1つの視点から合焦点距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定するステップは、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を算出するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定するステップとを有することを特徴とする請求項1に記載の3次元画像表示方法。

【請求項 4】

前記複数枚の画像を取得するステップは、複数の視点から前記被写体を撮影した画像、及び前記複数の視点のうち、1つ以上の視点から合焦点距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得し、

前記存在確率を決定するステップは、前記投影点と前記視点の異なる画像上の対応点間の相関度を求めるステップと、前記各視点の合焦点距離が異なる画像上の対応点の合焦点度を算出するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の前記相関度の高さ及び前記合焦点度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定することを特徴とする請求項1に記載の3次元画像表示方法。

【請求項 5】

異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得する被写体画像取得手段と、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得する3次元形状取得手段と、観察者から見て異なった奥行き位置にある複数の画像表示面を前記観察者が見る視点位置を設定する観察者視点設定手段と、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成する2次元画像生成手段とを備え、前記生成した2次元画像を前記各表示面に表示させることで前記被写体の3次元像を提示させる3次元画像表示装置

であって、

前記3次元形状取得手段は、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定する手段と、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定する手段と、前記投影面上の点（以下、投影点という）と対応する前記取得した画像上の点（以下、対応点という）の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定する手段と、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率（以下、存在確率という）を決定する手段とを備え、

前記2次元画像生成手段は、前記投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を、前記投影点が存在する投影面と対応する前記画像表示面上の点（以下、表示点という）の色情報または輝度情報、及び存在確率に変換して前記2次元画像を生成する手段を備え、

前記各表示点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に応じた輝度で表示させることを特徴とする3次元画像表示装置。

【請求項6】

前記被写体画像取得手段は、複数の異なる視点から前記被写体を撮影した画像を取得する手段であり、

前記存在確率を決定する手段は、前記投影点と対応する対応点間の相関度を求める手段と、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の相関度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定する手段とを備えることを特徴とする請求項5に記載の3次元画像生成装置。

【請求項7】

前記被写体画像取得手段は、1つの視点から合焦点距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得する手段であり、

前記存在確率を決定する手段は、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を算出する手段と、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定する手段とを備えることを特徴とする請求項5に記載の3次元画像生成装置。

【請求項8】

前記被写体画像取得手段は、複数の視点から前記被写体を撮影した画像、及び前記複数の視点のうち、1つ以上の視点から合焦点距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得する手段であり、

前記存在確率を決定する手段は、前記投影点と前記視点の異なる画像上の対応点間の相関度を求める手段と、前記各視点の合焦点距離が異なる画像上の対応点の合焦点度を算出するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の前記相関度の高さ及び前記合焦点度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定する手段を備えることを特徴とする請求項5に記載の3次元画像生成装置。

【請求項9】

前記請求項1乃至請求項4に記載された各ステップを、コンピュータに実行させる3次元画像生成プログラム。

【請求項10】

前記請求項9に記載の3次元画像生成プログラムが、コンピュータで読み取り可能な状態で記録された記録媒体。

【書類名】明細書

【発明の名称】3次元画像表示方法、3次元画像生成装置、3次元画像生成プログラム、及び記録媒体

【技術分野】

【0001】

本発明は、3次元画像表示方法、3次元画像生成装置、3次元画像生成プログラム、及び記録媒体に関し、特に、DFD (Depth Fusion Display) を用いた3次元画像の表示方法に適用して有効な技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、3次元物体を立体的に表示するディスプレイ（表示装置）には、DFDと呼ばれるディスプレイがある。前記DFDは、複数枚の画像表示面を、ある間隔で重ね合わせたディスプレイである（例えば、特許文献1を参照。）。また、前記DFDには、前記画像表示面上での画像の表示方法により、輝度変調型と透過型がある。

【0003】

前記DFDに物体の画像を表示するときには、前記被写体の3次元形状に基づいて前記各画像表示面に表示する前記被写体の2次元画像を生成し、前記生成した2次元画像を各表示面に表示する。このとき、前記DFDが輝度変調型であれば、あらかじめ設定された観察者の視点から見て重なりあう前記各画像表示面上の画素の輝度を、前記被写体の3次元形状に応じた割合に設定して表示する。こうすると、前記物体上のある点は、観察者から見て手前の画像表示面の画素の輝度が大きくなり、また別の点は、観察者から見て奥の画像表示面の画素の輝度が大きくなる。そのため、前記DFDに表示される多層の2次元画像を観察する観察者は、立体的（3次元的）な被写体の画像を観察することができる。

【0004】

また、前記DFDが透過型であれば、あらかじめ設定された観察者の視点から見て重なりあう前記各画像表示面上の画素の透過度を、前記被写体の3次元形状に応じた割合に設定して表示する。

【0005】

またこのとき、前記各画像表示面上で、前記被写体上の同じ点を表示している各画素の輝度の割合は、前記被写体の3次元形状に基づいて設定している。前記被写体の3次元形状が、あらかじめポリゴン等の基本図形でモデル化されている場合は、前記被写体を前記画像表示面がある空間上に配置し、例えば、前記被写体上の各点からその近傍の画像表示面までの距離に応じた割合で各画素の輝度値あるいは透過度を設定すればよい。しかしながら、例えば、実物体のように前記被写体の形状が既知ではない場合は、一般に、撮影条件が異なる複数枚の画像をもとにして前記被写体の3次元形状を取得する必要がある。このとき、前記被写体の3次元形状を取得する方法には、例えば、ステレオ法（例えば、非特許文献1を参照。）や、Shape from Silhouetteと呼ばれる方法（例えば、非特許文献2を参照。）等の様々な方法がある。

【特許文献1】特許第3022558号公報

【非特許文献1】Takeo Kanade et al.: "Virtualized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scenes," IEEE MultiMedia, Vol.4, No.1, pp.34-37, 1997.

【非特許文献2】Potmesil, M.: "Generating Octree Models of 3D Objects from their Silhouettes in a Sequence of Images," CVGIP 40, pp.1-29, 1987.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従来の前記DFDを用いた3次元画像表示方法では、3次元形状が既知ではない実物体の3次元像を表示する場合、前述のように、まず、各画像表示面上で前記物体上の同じ点を表示する各画素の輝度あるいは透過度を設定するために、例えば、ステレオ法等を用いて、前記物体の3次元形状を求める必要がある。

【0007】

前記ステレオ法を用いて物体の3次元形状を求めるときには、視点が異なる画像上で、物体上の同じ部分が写っている点の位置（座標）からその点の距離を推定する。ただし、前記ステレオ法で直接的に得られるのは、前記物体表面の点群である。そのため、前記物体の3次元形状を求めるには、得られた前記点群に含まれる点同士がどのように繋がり、どのような面をなすかという構造情報を決定しなければならない。すなわち、前記前記物体の3次元形状を求めるときには、前記物体形状の当てはめや統計処理などの複雑な処理を行わなければならない。そのため、前記DFDに表示する画像を生成する装置には高い処理能力（計算機パワー）が必要である。

【0008】

また、前記ステレオ法は、物体の形状や周囲の環境の影響を受けやすく、どのような形状の物体でも、そして物体上のどの点でも、信頼性の高い距離情報を得られるとは限らない。そのため、距離情報の信頼性が低い部分で、誤った距離情報を得てしまった場合、得られた物体の3次元形状が、部分的に、実際の物体の3次元形状と異なる場合がある。このように、部分的に、実際の物体の3次元形状と異なる点があると、各画像表示面上で、前記物体上の同じ点を表示している各画素の輝度あるいは透過度を設定するときに、実際の物体の3次元形状を反映した割合とは異なる設定になる。そのため、前記DFDに前記物体の画像を表示したときに、不連続なノイズが生じて、観察者の見た目に不自然な画像になってしまうという問題がある。

【0009】

また、前記Shape from Silhouetteと呼ばれる方法は、原理的に、物体が凸形状であることを仮定している。そのため、物体上に凹形状の部分があると、その部分に対しては正確な3次元形状を求めることができない。そのため、前記ステレオ法と同様に、前記DFDに前記物体の画像を表示したときに、不連続なノイズが生じて、観察者の見た目に不自然な画像になってしまうことがあるという問題がある。

【0010】

また、その他の、物体の3次元形状を求める方法でも、正確に3次元形状を求めるためには、複雑な処理が必要になる。そのため、前記DFDに表示する画像を生成する装置には、高い処理性能が要求されるという問題がある。

【0011】

本発明の目的は、DFDを用いて、撮影条件が異なる複数枚の画像から3次元形状を取得した被写体（物体）の3次元像を表示するときに、前記被写体の正確な3次元形状を求めなくても、見た目に自然な画像を表示することが可能な技術を提供することにある。

【0012】

本発明の他の目的は、撮影条件が異なる複数枚の画像から被写体の3次元形状を取得し、前記被写体の3次元形状に基づいて、DFDの各画像表示面に表示する2次元画像を生成する画像生成装置において、処理性能が低い場合でも、前記2次元画像を短時間で容易に生成することが可能な技術を提供することにある。

【0013】

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかになるであろう。

【課題を解決するための手段】**【0014】**

本発明の3次元画像表示方法は、異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、観察者から見て異なった奥行き位置にある複数の画像表示面を前記観察者が見る視点位置を設定するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成するステップと、前記生成した2次元画像を前記各表示面に表示することで前記被写体の3次元像を提示するステップとを有する3次元画像表示方法であって、前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造

の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点（以下、投影点という）と対応する前記取得した画像上の点（以下、対応点という）の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率（以下、存在確率という）を決定するステップとを有し、前記2次元画像を生成するステップは、前記投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を、前記投影点が存在する投影面と対応する前記画像表示面上の点（以下、表示点という）の色情報または輝度情報、及び存在確率に変換して前記2次元画像を生成し、前記被写体の3次元像を提示するステップは、前記各表示点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に応じた輝度で表示する3次元画像表示方法である。

【0015】

また、本発明の3次元画像表示方法では、前記複数枚の画像を取得するステップで、例えば、複数の異なる視点から前記被写体を撮影した画像を取得する場合、前記存在確率を決定するステップは、前記投影点と対応する前記取得した画像上の点（対応点）の相関度を求め、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の相関度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定する。

【0016】

また、前記複数枚の画像を取得するステップで、1つの視点から合焦点距離を変えて前記被写体を撮影した画像を取得する場合、前記存在確率を決定するステップは、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を算出し、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度の高さに基づいて前記各投影点の存在確率を決定する。

【発明の効果】

【0017】

本発明の3次元画像表示方法は、前記被写体の3次元形状を取得するときに、前述のように、複数の投影面を設定し、前記基準視点から見て重なり合う前記各投影面上の点（投影点）に対して、前記各投影点上に前記被写体の表面が存在する確率（存在確率）を与える。すなわち、従来の3次元形状を取得する方法のように、前記基準視点から見て重なり合う投影点のうちの1つの投影点上に物体の表面が存在すると考えず、前記各投影点上に、ある確率で前記被写体の表面が存在すると考える。また、取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成するステップでは、前記投影点の色情報または輝度情報、及び存在確率を、前記観察者の視点から見て前記投影点と重なる前記画像表示面上の点の色情報または輝度情報、及び存在確率に変換する。そして、前記各画像表示面に前記2次元画像を表示するときに、前記画像表示面上の各点を前記存在確率の高さに応じた輝度で表示する。

【0018】

このようにすると、前記基準視点からある方向を見たときに、被写体の表面がどの距離（投影点）にあるか推定するときの信頼性が低い場合でも、実際に前記被写体の表面が存在する距離に相当する投影点上に、ある確率で前記被写体の表面が存在する。そのため、前記画像表示面上の各点を、前記存在確率の高さに応じた輝度で表示することにより、従来の方法で距離の推定を誤ったときに生じるような不連続なノイズが目立ちにくくなる。

【0019】

また、本発明の3次元画像表示方法は、従来の画像表示方法のように、あらゆる形状の被写体、そして前記被写体上のあらゆる点で幾何学的なモデルを正確に求めるような処理は行わない。そのため、前記複数枚の画像から被写体の3次元形状を生成した後、前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成する装置にかかる負荷を低減することができる。前記各表示面に表示する2次元画像を生成する装置にかかる負荷を低減できれば、一般に普及しているパーソナル・コンピュータのように、処理性能が低い装置でも、高速で前記各2次元画像を生成することが可能になる。

【0020】

以下、本発明について、図面を参照して実施の形態（実施例）とともに詳細に説明する。

なお、実施例を説明するための全図において、同一機能を有するものは、同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

本発明の3次元画像表示方法では、互いに異なる撮影条件で被写体を撮影した複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得し、取得した前記被写体の3次元形状に基づいて、DFDのように複数の表示面を備えるディスプレイに前記被写体の3次元像を表示する。前記被写体の3次元形状を取得するときには、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定し、観察者の視点から見て重なり合う複数の投影面上の点（投影点）について、前記各投影点の色情報または輝度情報、及び前記投影点上に被写体の表面が存在する確率（存在確率）を決定する。そして、取得した前記被写体の3次元形状に基づいて、前記複数の表示面に表示する2次元画像を生成するときに、前記投影点の色情報または輝度情報を割り当てる2次元画像上の点に、前記色情報または輝度情報、及び存在確率を割り当て、前記画像表示面に表示するときに、2次元画像上の各点を前記存在確率の高さに応じた輝度で表示する。こうすることで、前記被写体の表面の距離に関する推定の信頼性が低い部分を曖昧に表示し、観察者の見た目に自然な3次元像を提示する。

【実施例1】

【0022】

図1乃至図12は、本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、図1は全体的な処理手順の一例を示すフロー図、図2及び図3は投影面の設定方法の一例を示す図、図4は投影点列の設定方法を説明する図、図5は投影点と対応点の座標関係を説明する図、図6は投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの処理手順の一例を示すフロー図、図7乃至図9は存在確率の決定方法を説明する図、図10乃至図12は各画像表示面で表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

【0023】

本実施例1の3次元画像表示方法は、例えば、図1に示すように、異なる視点から物体を撮影した複数枚の画像を取得するステップ101と、表示する物体の3次元像を観察する観察者の視点（基準視点）を設定するステップ102と、前記複数枚の画像から前記物体の3次元形状を取得するステップ103と、前記ステップ103で取得した前記物体の3次元形状に基づいて、各画像表示面に表示する2次元画像を生成するステップ104と、前記ステップ104で生成した各2次元画像を前記各画像表示面に表示して前記物体の3次元像を提示するステップ105とを有する。

【0024】

本実施例1の3次元画像表示方法を用いて、前記DFDに物体の3次元像を表示するときには、まず、異なる視点から前記物体を撮影した画像を取得する（ステップ101）。このとき、前記取得する画像を撮影する視点は、例えば、直線状に一列に並んでいても良いし、円弧状または任意の曲線上、あるいは平面または曲面上に2次元的に並んでいても良い。またこのとき、取得する画像は、カラー画像であっても、白黒画像であってもよいが、本実施例1では、画像上の各点（画素）が赤（R）、緑（G）、青（B）の3原色を用いた色情報で表現されるカラー画像を取得するとして説明する。

【0025】

前記ステップ101で画像を取得したら、次に、前記DFDに表示される物体を観察する観察者の視点を設定する（ステップ102）。このとき、前記観察者の視点は、例えば、前記複数の画像表示面のうちの基準となる画像表示面からの距離等の前記観察者の視点と前記画像表示面の相対的な位置関係や、視線の方向等を設定する。

【0026】

前記ステップ102で観察者の視点を設定したら、次に、前記ステップ101で取得した複数枚の画像から、前記画像に写っている物体の3次元形状を取得する（ステップ10

3)。前記ステップ103では、まず、多層構造の投影面 L_j ($j=1, 2, \dots, M$) を設定する(ステップ10301)。そして次に、前記物体の3次元形状を取得するための基準視点Rを設定する(ステップ10302)。このとき、前記投影面 L_j は、例えば、図2に示すように、仮想的な3次元空間上のXY平面と平行な面を複数枚設定する。またこのとき、前記各投影面 L_j は、例えば、図3に示すように、前記3次元空間上の $Z=0$ から負の方向の距離 l_j に設定する。また、前記基準視点Rは、前記物体の3次元形状を取得するための視点であり、3次元空間上の任意の点に設定することができる。そこで、前記基準視点Rは、前記ステップ102で設定した観察者の視点とし、例えば、前記 $Z=0$ から最も遠い投影面 L_1 を、前記DFDの観察者から見て最も奥にある画像表示面として、図3に示すように、前記投影面 L_1 からの距離が、前記観察者の視点から前記DFDの最も奥にある画像表示面までの距離 l_d となるように設定する。

【0027】

前記ステップ10301及びステップ10302で前記投影面 L_j 及び基準視点Rを設定したら、次に、前記投影面上の投影点、及び前記各投影点と対応する前記取得した画像上の点(対応点)等を設定する(ステップ10303)。このとき、前記投影点は、例えば、図4に示すように、前記基準視点Rから複数の方向に直線を引き、前記各直線と前記各投影面 L_j の交点に設定する。また、前記被写体の表面の距離を推定するときには、前記同一直線上にある複数の投影点 T_j に対して、どの投影点上に存在するか推定するので、図4に示したように、同一直線上にある投影点 T_j を投影点列Sとしてひとまとめに扱う。

【0028】

また、前記対応点は、図2及び図3に示したように、前記投影点 T_j から前記各カメラの視点 C_i を見たときに、前記カメラの視点と重なる前記各カメラの画像面上の点 G_{ij} である。このとき、図2に示したように、前記各画像面上に2次元の座標系(x y座標系)を設定すると、前記投影点 T_j (X_j, Y_j, Z_j) と対応する対応点 G_{ij} の2次元座標 (x_{ij}, y_{ij}) は、前記投影点 T_j を各画像面上の2次元の点に射影することで求められる。この射影は、一般的な、3次元空間上の点(X, Y, Z)を2次元平面上の点(x, y)に射影する3行4列の射影行列を用いて行えばよいので、詳細な説明は省略する。

【0029】

また、コンピュータのような画像生成装置で扱う画像は、いわゆるデジタル画像であり、装置のメモリ上の2次元配列で表現されている。以下、前記配列の位置を表す座標系をデジタル画像座標系といい、(u, v)で表す。ここで、例えば、横640画素、縦480画素のデジタル画像を考えると、前記デジタル画像上の各画素の位置(アドレス)は、0から639までの整数値のいずれかをとる変数uと、0から479までの整数値のいずれかをとる変数vにより示される。そして、その点の色情報は、そのアドレスでの赤(R), 緑(G), 青(B)の情報を8ビット等に量子化したデータで与えられる。

【0030】

またこのとき、図5に示すように、前記仮想的な3次元空間内の前記対応点 G_{ij} の座標 (x_{ij}, y_{ij}) と、前記デジタル画像座標 (u, v) は、1対1で対応付けされ、例えば、式1のような関係を持つ。

【0031】

【数1】

【数1】

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot\theta & u_0 \\ 0 & k_v / \sin\theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

なお、前記数式1は、例えば、デジタル画像座標系のu軸を、図5に示した3次元空間内での2次元座標系のx軸と平行にとっているとする。また、前記数式1において、 k_u , k_v はそれぞれ前記3次元空間上の(x, y)座標系を基準にした前記デジタル画像座標系のu軸とv軸の単位長、 θ はu軸とv軸のなす角である。

【0032】

そこで、前記ステップ10303では、前記対応点 G_{ij} のデジタル画像座標(u_{ij} , v_{ij})と前記投影点 T_j の3次元空間座標(X_j , Y_j , Z_j)の対応関係を設定する。この対応関係は、全ての(u_{ij} , v_{ij})に対して(X_j , Y_j , Z_j)の値をテーブルとして設定してもよいし、代表的な(u_{ij} , v_{ij})に対してのみ(X_j , Y_j , Z_j)の値を設定し、その他の点は、例えば、線形補完等の補完処理で求めてよい。

【0033】

また、前記デジタル画像座標系では(u, v)は離散値をとるが、以下の説明では断りのない限り連続値をとることとし、前記2次元配列へアクセスするときに適当な離散化処理を行うものとする。

【0034】

前記ステップ10303で前記投影点列、対応点等を決定したら、次に、前記投影面 L_j の情報、すなわち前記投影面 L_j にテクスチャマッピングする画像を格納する配列を確保する。(ステップ10304)。このとき、確保する配列は、前記投影点 T_j の位置に対応するテクスチャ情報として、画素毎に色情報(R, G, B)及び存在確率の情報を、例えば、8ビットずつ持たせる。

【0035】

前記ステップ10304で前記投影面の情報を格納する配列を確保したら、次に、各投影点 T_j の色情報及び存在確率を決定する(ステップ10305)。前記ステップ10305では、例えば、図6に示すように、ある投影点列上の各投影点 T_j の色情報及び存在確率を決定するという処理を、設定した全ての投影点列に対して繰り返すという2重ループの処理を行う。そこでまず、前記投影点列を初期化する(ステップ10305a)。そして次に、前記投影点列上の投影点 T_j を初期化し、例えば、 $j=1$ とする。(ステップ10305b)。

【0036】

次に、前記投影点 T_j の色情報を決定する(ステップ10305c)。前記ステップ10305cでは、例えば、前記ステップ10303で設定した各対応点 G_i の色情報 K_i の平均値を前記投影点 T_j の色情報 K_j に決定する。

【0037】

次に、前記投影点 T_j と対応する各対応点 G_{ij} ($i \in I$)に写っている物体上の点の相関度 Q_j を求める(ステップ10305d)。このとき、前記相関度 Q_j は、例えば、前記投影点 T_j の色情報を表すベクトルを K_j 、各対応点 G_{ij} の色情報を表すベクトルを K_{ij} とおくと、下記数式2により求める。

【0038】

【数2】

【数2】

$$Q_j = \sum_{i \in I} (K_j - K_{ij})^2$$

【0039】

前記数式2を用いて相関度 Q_j を求めた場合、前記相関度 Q_j は、常に正の値をとり、かつ、相関が高いほど値が小さくなる。

【0040】

なお、前記数式2は前記相関度 Q_j の求め方の一例であり、前記数式2以外の数式を用いて前記相関度 Q_j を求めてよい。また、前記相関度 Q_j を求めるときには、前記投影点

T_j と前記対応点 G_{ij} の1点だけでなく、前記投影点 T_j 及び前記対応点 G_{ij} の近傍にある複数の点を含めた小領域を考えて求めてよい。

【0041】

前記ステップ10305dにより、前記相関度 Q_j を求めたら、前記投影点 T_j を更新し、処理の対象となっている投影点列上の全ての投影点で、前記ステップ10305c及びステップ10305dの処理を行ったか確認する（ステップ10305e）。ここで、前記ステップ10305c及びステップ10305dの処理を行っていない投影点があれば、前記ステップ10305cに戻って前記色情報 K_j 及び相関度 Q_j を求める。

【0042】

処理の対象としている投影点列上の全ての投影点に対して、前記色情報及び相関度 Q_j を求めるとき、図7に示すように、投影点列上の各投影点 T_j に対して色情報 K_j 及び相関度 Q_j が与えられる。このとき、前記各投影点 T_j の相関度 Q_j を比較すると、一般的には、図8(a)に示すように、ある投影点 T_m の相関度 Q_m だけが特徴的な小さな値をとる。このような場合、その投影点列投上では、前記物体の表面が前記投影点 T_m 上にあると推定でき、その信頼性も高い。

【0043】

しかしながら、物体の形状や表面の模様（テクスチャ）、あるいは撮影条件等によっては、投影点列上の各投影点 T_j の相関度 Q_j を比較したときに、図8(b)に示すように、相関度が特徴的な小さな値を持つ投影点がない場合がある。このような場合、前記物体の表面がある1つの投影点上にあると推定しても、その信頼性は低く、推定を誤っている場合がある。そして、推定を誤っている場合、その影響が生成した画像上に大きなノイズとなって現れていた。

【0044】

そこで、本発明の3次元画像表示方法では、次に、前記投影点列上の各投影点 T_j に物体の表面が存在する確率（存在確率） β_j を決定する（ステップ10305f）。このとき、前記存在確率 β_j は、下記数式3及び数式4を満たす必要がある。

【0045】

【数3】

【数3】

$$0 \leq \beta_j \leq 1$$

【0046】

【数4】

【数4】

$$\sum_{j=1}^M \beta_j = 1$$

【0047】

さらに、前記投影点 T_j に物体の表面が存在する確率が高いほど前記存在確率 β_j が1に近い値をとるようにすると、前記投影点列上の各投影点 T_j に対して求めた相関度 Q_j に対し、例えば、下記数式5及び数式6で表される変換処理を行って前記存在確率 β_j （ $j \in J$ ）を決定すればよい。

【0048】

【数5】

【数5】

$$\tilde{\beta}_j = \frac{1}{Q_j}$$

【0049】

【数6】

【数6】

$$\beta_j = \frac{\beta_j}{\sum_{j=1}^M \tilde{\beta}_j}$$

【0050】

なお、前記存在確率 β_j は、基本的には前記数式3及び数式4の条件を満たしていればよい。そのため、前記変換処理は、前記数式5及び数式6以外の数式を用いて決定してもよい。

【0051】

前記ステップ10305fにより、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を決定したら、前記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を、前記ステップ10304で確保した領域に格納する。

【0052】

記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を格納したら、前記投影点列を更新し、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列で、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行ったか確認する（ステップ10305g）。ここで、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行っていない投影点列があれば、前記ステップ10305bに戻って前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を繰り返す。

【0053】

こうして、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列に対して、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行うと、前記ステップ10305の処理が終了し、前記物体の3次元的な形状が得られる。

【0054】

前記ステップ103の処理を行うと、例えば、図9に示すように、ある投影点列上の各投影点 T_j ($j=1, 2, \dots, M$) のテクスチャ配列には色情報 K_j 及び存在確率 β_j が保持されている。つまり、本発明の3次元画像表示方法で取得する物体の3次元形状は、従来の方法のように前記投影点列上のある1つの投影点に物体の表面が存在するのではなく、前記各投影点に存在する。本発明の3次元画像表示方法では、このような物体の3次元形状を用いて、前記複数の画像表示面のそれぞれに表示する2次元画像を生成する（ステップ104）。

【0055】

前記ステップ104で、前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成するときには、まず、前記仮想的な3次元空間上に観察者の視点、複数枚の2次元画像生成面、前記ステップ103で取得した前記物体の3次元形状を設定する。このとき、前記2次元画像生成面 $L D_n$ ($n=1, 2, \dots, N$) は、例えば、図10に示すように、前記観察者の視点 P から見て奥行き方向に重なるように設定する。また、前記観察者の視点 P から前記各2次元画像生成面 $L D_n$ までの距離 $1 d_n$ は、前記ステップ102で設定された距離になるように設定す

る。またこのとき、前記物体の3次元形状を表現している投影面 L_j の数及び設定間隔が、前記2次元画像生成面 $L D_n$ の数及び設定間隔と一致しているとすれば、前記物体の3次元形状は、例えば、図10に示すように、前記投影面 L_j と前記2次元画像生成面 $L D_n$ が一致するように設定する。このとき、前記2次元画像生成面 $L D_n$ が、輝度変調型DFDの各画像表示面に表示する画像を生成する面であるとすれば、観察者の視点Pから見て重なり合う前記2次元画像生成面 $L D_n$ 上の各点（表示点） A_n に対して、色情報 $K D_n$ 及び存在確率（輝度分配係数） γ_n を決定する必要がある。ここで、図10に示すように、前記物体の3次元形状を表現している投影面 L_j と2次元画像生成面 $L D_n$ が一致しているのであれば、前記各表示点 A_n の色情報 $K D_n$ は、前記各表示点 A_n がある2次元画像生成面 $L D_n$ と重なっている投影面 L_j の投影点 T_j の色情報 K_j とする。また、前記各表示点 A_n の輝度分配率 γ_n は、前記各表示点 A_n がある2次元画像生成面 $L D_n$ と重なっている投影面 L_j の投影点 T_j の存在確率 β_j を割り当てる。このようにして、前記2次元画像生成面 $L D_n$ 上の各表示点Aに対して色情報 $K D$ 及び輝度分配係数 γ を決定したら、その2次元画像生成面 $L D_n$ に生成された画像を出力し、実際のDFDの画像表示面で表示する（ステップ105）。

【0056】

ただし、前記物体の3次元形状を表現する投影面 L_j の数及び設定間隔は、前記2次元画像生成面 $L D_n$ の数及び設定間隔と一致させる必要はない。そこで次に、投影面 L_j の数及び設定間隔と前記2次元画像生成面 $L D_n$ の数及び設定間隔が一致していない場合の前記2次元画像の生成方法について説明する。

【0057】

このとき、前記観察者の視点Pから見て一番手前の投影面から一番奥の投影面までの距離と、一番手前の2次元画像生成面から一番奥の2次元画像生成面までの距離がほぼ等しいのであれば、前記物体の3次元形状を表現する投影面 L_j は、例えば、図11に示すように、前記観察者の視点Pから見て一番奥の投影面 L_1 と2次元画像生成面 $L D_1$ が重なるように設定する。こうすると、前記観察者の視点Pから見て一番奥の2次元画像生成面 $L D_1$ の各表示点Aの色情報 $K D$ 及び輝度分配係数 γ は、前記観察者の視点Pから見て一番奥の投影面 L_1 上の各投影点Tの色情報K及び存在確率 β である。

【0058】

また、重なっている投影面がない2次元画像生成面 $L D$ 上の各表示点Aの色情報 $K D$ 及び輝度分配係数 γ に関しては、以下のような方法で決定する。

【0059】

前記重なっている投影面がない2次元画像生成面 $L D$ 上の各表示点Aの色情報 $K D$ 及び輝度分配係数 γ に関しては、例えば、前記観察者の視点Pから見て、前記各表示点Aと重なる前記各投影面 L 上の投影点Tの色情報K及び存在確率 β を、前記投影面 L から見て最も近い2次元画像生成面 $L D$ 上の表示点Aに割り当てる。このとき、前記表示点Aの色情報 $K D$ は、割り当てられた各投影点Tの色情報Kの平均値、もしくは前記表示点Aがある2次元画像生成面 $L D$ から見て最も近い投影面 L の投影点Tの色情報Kとする。また、輝度分配係数 γ に関しては、前記割り当てられた各投影点Tの存在確率 β の和とする。このとき、ある2次元画像生成面 $L D_n$ が最も近い生成面となる投影面 L_j の集合を $\{L_j | j \in \Gamma_n\}$ とおくと、前記2次元画像生成面 $L D_n$ 上の表示点 A_n の輝度分配率 γ_n は、前記各投影面 L_j の投影点 T_j の存在確率 β_j を用いて、下記式7で与えられる。

【0060】

【数7】

【数7】

$$\gamma_n = \sum_{j \in \Gamma_n} \beta_j$$

【0061】

ここで、前記投影面 L_j と 2 次元画像生成面 $L D_n$ が、図 12 (a) に示すような位置関係にある場合を考える。ここで、観察者の視点 P から見て表示点 A_1, A_2 と重なり合う各投影点 T_j ($j=1, 2, 3, 4, 5$) の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を、前記各投影面から見て最も近い 2 次元画像生成面上の表示点 A に割り当てるすれば、投影点 T_1, T_2, T_3 の色情報及び存在確率は、前記表示点 A_1 に割り当てられる。このとき、前記表示点 A_1 の色情報 K_{D_1} は、例えば、前記各投影点 T_1, T_2, T_3 の色情報 K_1, K_2, K_3 の平均値でも良いし、前記表示点 A_1 からみて最も近い投影点 T_2 の色情報 K_2 としても良い。また、前記表示点 A_1 の輝度分配係数 γ_1 は、前記数式 7 を用い、前記各投影点 T_1, T_2, T_3 の存在確率 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ の和とする。

【0062】

同様に、前記投影点 T_4, T_5 の色情報及び存在確率は、2 次元画像生成面 $L D_2$ に割り当てられ、表示点 A_2 の色情報 K_{D_2} は前記投影点 T_4, T_5 の色情報 K_4, K_5 の平均値もしくは投影点 T_5 の色情報 K_5 とする。そして、輝度分配係数 γ_2 に関しては、前記数式 7 を用いて前記各投影点 T_4, T_5 の存在確率 β_4, β_5 の和とする。

【0063】

また、前記 2 次元画像生成面 $L D_n$ の設置間隔と前記投影面 L_j の設定間隔が異なり、2 枚の連続した 2 次元画像生成面 $L D_n, L D_{n+1}$ の間にある投影面 L_j の投影点の色情報及び存在確率は、前記投影面 L_j と各 2 次元画像生成面 $L D_n, L D_{n+1}$ の距離の比に応じて分配してもよい。このとき、前記 2 次元画像生成面 $L D_n, L D_{n+1}$ の間にある投影面 L_j の集合を $\{L_j | j \in \Gamma_n\}$ とおくと、前記 2 次元画像生成面 $L D_n$ 上の表示点 A_n の輝度分配率 γ_n は、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を用いて、下記数式 8 で与えることができる。

【0064】

【数8】

【数8】

$$\gamma_n = \sum_{j \in \Gamma_n} w_{j,n} \beta_j$$

前記数式 8において、 $w_{j,n}$ は、投影面 L_j の 2 次元画像生成面 $L D_n$ に対する寄与の度合いを表す係数である。

【0065】

ここで、例えば、図 12 (b) に示すように、2 枚の 2 次元画像生成面 $L D_1, L D_2$ の間に、投影面 L_1, L_2 が設定されている場合を考える。このとき、投影面 L_1 と前記各表示面 $L D_1, L D_2$ の距離がそれぞれ B_1, B_2 とすると、前記投影面 L_1 の前記各 2 次元画像生成面 $L D_1, L D_2$ に対する寄与の度合 $w_{1,1}, w_{1,2}$ は、例えば、下記数式 9 で与えられる。

【0066】

【数9】

【数9】

$$w_{1,1} = \frac{B_2}{B_1 + B_2}, \quad w_{1,2} = \frac{B_1}{B_1 + B_2}$$

【0067】

同様に、投影面 L_2 と前記各 2 次元画像生成面 $L D_1, L D_2$ の距離がそれぞれ B_3, B_4 とすれば、前記投影面 L_2 の前記各 2 次元画像生成面 $L D_1, L D_2$ に対する寄与の度合 $w_{2,1}, w_{2,2}$

$w_{2,1}$, $w_{2,2}$ は、下記数式10で与えられる。

【0068】

【数10】

【数10】

$$w_{2,1} = \frac{B_4}{B_3 + B_4}, \quad w_{2,2} = \frac{B_3}{B_3 + B_4}$$

【0069】

この結果、前記2次元画像生成面LD₁の表示点A₁の輝度分配率 γ_1 及び前記表示面LD₂の表示点A₂の輝度分配率 γ_2 はそれぞれ、下記数式11のようになる。

【0070】

【数11】

【数11】

$$\gamma_1 = w_{1,1}\beta_1 + w_{2,1}\beta_2, \quad \gamma_2 = w_{1,2}\beta_1 + w_{2,2}\beta_2$$

【0071】

このように、前記物体の3次元形状を取得するときに、前記投影点列上の各投影点T_jの相関度Q_jから前記各投影点T_jに物体の表面が存在する確率（存在確率） β_j を与えた形状を取得し、前記2次元画像生成面LD上の表示点Aの輝度分配係数を前記存在確率 β_j で与えると、前記投影点列上の各投影点T_jに特徴的な値の相関度Q_jを持つ投影点がなく、物体表面の距離の推定に対する信頼性が低い場合、その投影点列上では、前記物体の表面が複数の投影面に曖昧に表現される。そして、前記各投影点T_jの存在確率 β_j から前記2次元画像生成面LD上の点の輝度分配係数 γ を決定すると、前記2次元画像生成面に生成された2次元画像を実際の画像表示面に表示し、物体の3次元像を提示したときに、距離の推定に対する信頼性が低く、複数の投影点に前記存在確率 β_j が分散している投影点列上では、前記物体の表面が曖昧に表示される。そのため、前記DFDに表示した3次元像上のノイズが目立ちにくくなり、観察者の見た目に自然な像を表示することができる。

【0072】

以上説明したように、本実施例1の3次元画像表示方法によれば、表示する物体の正確な3次元形状を求めなくても、観察者の見た目に自然な3次元像を表示することができる。

【0073】

また、本実施例1の画像表示方法では、画像上の点（画素）が赤（R）、緑（G）、青（B）の3原色を用いた色情報で表現されたカラー画像を取得し、前記物体の3次元的な形状をする場合を例に挙げて説明したが、本実施例1の画像表示方法では、前記カラー画像に限らず、画像上の各点（画素）が輝度（Y）、色差（U, V）を用いた表現の白黒画像を取得し、前記物体の3次元的な形状を取得することもできる。取得する画像が前記白黒画像の場合、前記色情報に相当する情報として、前記輝度情報（Y）を用いて、本実施例1で説明したような手順で3次元形状を取得し、前記2次元画像を生成すればよい。

【実施例2】

【0074】

図13乃至図17は、本発明による実施例2の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、図13は投影点と対応点の関係を示す図、図14は投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの一例を示すフロー図、図15及び図16は存在確率の求め方を説明する図である。

【0075】

本実施例2の3次元画像表示方法は、基本的な手順の流れは、前記実施例1の3次元画像表示方法と同様であり、図1に示したような、前記ステップ101からステップ105の処理を行う。本実施例2の3次元画像表示方法において、前記実施例1の3次元画像表示方法と異なる点は、前記ステップ101で、視点が異なる複数枚の画像の代わりに、合焦距離が異なる複数枚の画像を取得し、前記ステップ103において、前記合焦距離が異なる画像を用いて、前記物体の3次元形状を取得する点である。

【0076】

本実施例2の3次元画像表示方法を用いて、前記DFDに物体の3次元像を表示するときには、まず、ある視点から合焦距離を変えて撮影した複数枚の画像を取得する。このとき、前記複数枚の画像は、例えば、偏光型二値光学系や可変焦点レンズ等を用いて撮影される。また、取得する画像は、前記実施例1と同様でカラー画像であっても良いし、白黒画像であっても良い。次に、前記実施例1で説明したように、観察者の視点を設定（ステップ102）した後、前記物体の3次元形状を取得するステップ103の処理を行う。

【0077】

前記ステップ103の処理では、前記実施例1で説明したように、まず、前記投影面 L_j ($j=1, 2, \dots, M$) 及び基準視点 R を設定する（ステップ10301, ステップ10302）。そして続けて、前記投影点列や対応点を設定し、前記投影面の情報を格納する配列（領域）を確保する（ステップ10303, ステップ10304）

【0078】

本実施例2の3次元画像表示方法のように、合焦距離が異なる複数枚の画像を用いて物体の3次元像を表示させる場合、前記ステップ10301で投影面 L_j を設定するときには、例えば、図13に示すように、前記カメラの視点 C からの距離が前記カメラで撮影した画像の合焦距離 f_i ($i=1, 2, \dots, N$) と一致するように設定する。そして、前記ステップ10303では、前記投影点 T_j に対応する対応点 G_i は、前記カメラの視点 C から前記投影点 T_j を見たときに前記投影点 T_j と重なる画像 I_{mg_i} 上の点とする。なお、投影点列の設定方法、前記投影点 T_j の座標と対応点 G_i のデジタル画像座標の対応付けに関しては、前記実施例1で説明したのと同様の方法で対応付ければよいので、詳細な説明は省略する。

【0079】

また、前記ステップ10304の投影面の情報を格納する領域を確保する処理も、前記実施例1で説明した処理と同様の処理を行えばよいので、詳細な説明は省略する。

【0080】

次に、前記取得した複数枚の画像を用いて、前記各投影点 T_j の色情報及び存在確率の情報を決定する（ステップ10305）。本実施例2の3次元画像表示方法でも、前記ステップ10305では、例えば、図14に示すように、ある投影点列上の各投影点 T_j の色情報及び存在確率を決定するという処理を、設定した全ての投影点列に対して繰り返すという2重ループの処理を行う。そこでまず、前記投影点列を初期化する（ステップ10305a）。そして次に、前記投影点列上の投影点 T_j を初期化し、例えば、 $j=1$ とする。（ステップ10305b）。

【0081】

次に、前記投影点 T_j の色情報を決定する（ステップ10305c）。前記ステップ10305cでは、例えば、前記ステップ10303で設定した各対応点 G_i の色情報の平均値を前記投影点 T_j の色情報 K_j に決定する。

【0082】

次に、前記投影点 T_j と対応する各対応点 G_i に写っている物体上の点の焦点の合っている度合い（合焦点度）から、前記投影点 T_j の合焦点度 Q_j を求める（ステップ10305h）。合焦点度は、画像上の点または微小領域での画像のシャープさやボケの程度により決められる。前記合焦点度の算出方法には、Depth from Focus 理論もしくは Depth from Defocus 理論に基づき、様々な方法がある（例えば、参考文献1, 2, 3, 4を参照）。このとき、前記合焦点度 Q_j は、例えば、前記各対応点 G_i の局所空間周波数の大きさ

を比較することで求められる。

【0083】

前記 Depth from Focus 理論もしくは Depth from Defocus 理論は、合焦距離の異なる複数枚の画像を解析し、前記物体の表面形状を計測する方法である。このとき、例えば、前記合焦距離を変えて撮影した画像のうち、最も局所空間周波数が高い画像の合焦距離に相当する距離に前記物体の表面があると推定できる。そこで、前記投影点 T_j の合焦点度 Q_j は、例えば、下記式 12 で表されるような局所空間周波数の評価関数を用いて算出する。

【0084】

【数12】

【数12】

$$Q = \frac{1}{D} \sum_{x=x_i}^{x_f} \sum_{y=y_i}^{y_f} \left\{ \sum_{p=-L_c}^{L_c} \sum_{q=-L_r}^{L_r} |f(x, y) - f(x+p, y+q)| \right\}$$

【0085】

ここで、 f は画素の濃淡値、 D は正規化のための定数で評価を行う全ての画素数、 $(-L_c, -L_r) - (L_c, L_r)$ 及び $(x_i, y_i) - (x_f, y_f)$ はそれぞれ分散評価と平滑化を行うための小領域である。

【0086】

なお、前記式 12 は前記合焦点度 Q_j の求め方の一例であり、前記式 12 以外の式を用いて前記合焦点度 Q_j を求めてよい。

【0087】

前記ステップ 10305h により、前記合焦点度 Q_j を求めたら、前記投影点 T_j を更新し、処理の対象となっている投影点列上の全ての投影点で、前記ステップ 10305c 及びステップ 10305h の処理を行ったか確認する（ステップ 10305e）。ここで、前記ステップ 10305c 及びステップ 10305h の処理を行っていない投影点があれば、前記ステップ 10305c に戻って前記色情報 K_j 及び合焦点度 Q_j を求める。

【0088】

処理の対象としている投影点列上の全ての投影点に対して、前記色情報及び合焦点度 Q_j を求めると、図 15 に示すように、投影点列上の各投影点 T_j に対して色情報 K_j 及び合焦点度 Q_j が与えられる。このとき、前記各投影点 T_j の合焦点度 Q_j は前記実施例 1 で存在確率 β を決定するときに用いた相関度に相当する度合いであり、物体の形状や表面の模様（テクスチャ）、あるいは撮影条件等によっては、投影点列上の各投影点 T_j の合焦点度 Q_j を比較したときに、合焦点度が特徴的な小さな値を持つ投影点がない場合がある。このような場合、前記物体の表面がある 1 つの投影点上にあると推定しても、その信頼性は低く、推定を誤っている場合がある。そして、推定を誤っている場合、その影響が生成した画像上に大きなノイズとなって現れていた。

【0089】

そこで、本発明の 3 次元画像表示方法では、次に、前記投影点列上の各投影点 T_j に物体の表面が存在する確率（存在確率） β_j を決定する（ステップ 10305f）。このとき、前記存在確率 β_j は、前記式 3 及び式 4 を満たす必要がある。そこで、本実施例 2 では、例えば、下記式 13 を用いて、投影点 T_k の存在確率 β_k を決定する。

【0090】

【数13】

【数13】

$$\beta_k = \frac{Q_k}{\sum_{j=1}^M Q_j}$$

【0091】

なお、前記存在確率 β_j は、基本的には前記数式3及び数式4の条件を満たしていればよい。そのため、前記存在確率は、前記数式13以外の数式を用いて決定してもよい。

【0092】

前記ステップ10305fにより、図16に示すように、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j を決定したら、前記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を、前記ステップ10304で確保した領域に格納する。

【0093】

記各投影点 T_j の色情報 K_j 及び存在確率 β_j を格納したら、前記投影点列を更新し、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列で、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行ったか確認する（ステップ10305g）。ここで、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行っていない投影点列があれば、前記ステップ10305bに戻って前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を繰り返す。

【0094】

こうして、前記ステップ10303で決定した全ての投影点列に対して、前記ステップ10305cからステップ10305fまでの処理を行うと、前記ステップ10305の処理が終了し、前記物体の3次元的な形状が得られる。そして、前記ステップ103の処理により前記物体の3次元的な形状を取得したら、前記実施例1と同様の手順で、前記取得した物体の3次元形状に基づいて、前記2次元画像生成面LD上の表示点Aの色情報及び輝度分配係数γを決定し、DFDのような複数の重なり合った画像表示面に表示する2次元画像を生成し（ステップ104）、生成した画像を実際の画像表示面に表示（ステップ105）すれば、前記物体の3次元像を提示することができる。

【0095】

本実施例2の3次元画像表示方法も、前記実施例1の3次元画像表示方法と同様に、取得した前記物体の3次元形状において、前記投影点列上の各投影点 T_j に特徴的な値の合焦点度 Q_j を持つ投影点がなく、物体表面の距離の推定に対する信頼性が低い場合、その投影点列上では、前記物体の表面が複数の投影面に曖昧に表現される。そして、前記各投影点 T_j の存在確率 β_j から前記2次元画像生成面LD上の点の輝度分配係数γを決定すると、前記2次元画像生成面に生成された2次元画像を実際の画像表示面に表示し、物体の3次元像を提示したときに、距離の推定に対する信頼性が低く、複数の投影点に前記存在確率 β_j が分散している投影点列上では、前記物体の表面が曖昧に表示される。そのため、前記DFDに表示した3次元像上のノイズが目立ちにくくなり、観察者の見た目に自然な像を表示することができる。

【0096】

以上説明したように、本実施例2の3次元画像表示方法によれば、前記実施例1と同様に、物体の正確な3次元形状を求めなくても、見た目に自然な3次元形状を表示することができる。

【0097】

また、本実施例2の画像表示方法の場合も、取得する画像はカラー画像、白黒画像のどちらでもよく、白黒画像の場合は、前記色情報に相当する情報として、輝度情報（Y）を用いて、本実施例2で説明したような処理を行えばよい。

【実施例3】

【0098】

図17乃至図20は、本発明による実施例3の3次元画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、図17は装置の構成を示すブロック図、図18乃至図20は3次元画像生成装置を用いた画像表示システムの構成例を示す図である。

図17において、2は3次元画像生成装置、201は被写体画像取得手段、202は観察者視点設定手段、203は投影面等設定手段、204はテクスチャ配列確保手段、205は色情報／存在確率決定手段、206は投影面情報－表示面情報変換手段、207は画像出力手段、3は画像表示手段(DFD)、4は被写体画像撮影手段、5は視点情報入力手段である。

【0099】

本実施例3の3次元画像生成装置2は、前記実施例1及び実施例2で説明したような手順で物体の3次元的な形状を取得し、DFDのような複数の重なった画像表示面を持つ画像表示手段3の各画像表示面に表示する2次元画像を生成する装置であり、図17に示すように、撮影条件が異なる複数枚の被写体画像を取得する被写体画像取得手段201と、生成する画像を見る観察者の視点を設定する観察者視点設定手段202と、存在確率を決定するための投影面、投影点、対応点を設定する投影面等設定手段203と、投影面上の点(投影点)の色情報及び存在確率を格納するテクスチャ配列を確保するテクスチャ配列確保手段204と、前記投影点の色情報及び前記投影点に物体の表面が存在する確率(存在確率)を決定する色情報／存在確率決定手段205と、前記投影点の色情報及び存在確率の情報を前記画像表示面に表示する2次元画像上の点の色情報及び存在確率に変換する投影面情報－表示面情報変換手段206と、画像出力手段207とを備える。このとき、前記画像出力手段207から出力された画像は、例えば、DFDのように、複数の重なり合う画像表示面を備える画像表示手段3で表示される。

【0100】

また、前記被写体画像取得手段201は、被写体画像撮影手段4で撮影された被写体(物体)の画像を取得する。このとき、前記被写体画像撮影手段4は、例えば、複数の視点にカメラが設置された撮影手段であってもよいし、1つの視点から焦点位置の異なる画像を撮影できる撮影手段であってもよい。またこのとき、前記被写体画像撮影手段4で、1つの視点から焦点位置の異なる画像を撮影する場合は、例えば、偏光型二値光学系(例えば、参考文献5を参照)や、可変焦点レンズ(例えば、参考文献6を参照)を用いればよい。また、その他にも、焦点位置が異なる複数枚のレンズを高速で切り替えて撮影してもよい。

【0101】

また、前記観察者視点設定手段202は、例えば、観察者が、マウスやキーボード等の視点情報入力手段5を用いて入力した情報に基づいて、前記観察者の視点から前記画像表示手段3の画像表示面までの距離等を設定する。また、前記視点情報入力手段5は、前記観察者の姿勢や視線を検知して、その姿勢や視線に応じた情報を入力する手段であってよい。

【0102】

また、前記投影面等設定手段203は、前記実施例1及び実施例2で説明したように、例えば、互いに平行な投影面 L_j 、投影点列、対応点等を設定する。

【0103】

また、前記テクスチャ配列確保手段204は、前記実施例1及び実施例2で説明したように、投影面上の投影点 T_j の色情報及び存在確率 β_j を格納する領域を、例えば、装置内に設けられたメモリ上に確保する。

【0104】

また、前記色情報／存在確率決定手段205は、前記実施例1及び実施例2で説明したように、前記投影点 T_j と対応する画像上の対応点 G から色情報を決定するとともに、前記投影点 T_j に物体の表面が存在する確率 β_j を決定する。

【0105】

また、前記投影面情報一表示面情報変換手段207では、前記実施例1で説明したように、前記投影面の色情報及び存在確率を、前記画像表示手段の各画像表示面に表示する2次元画像上の点（表示点）の色情報及び輝度分配率に変換する。

【0106】

本実施例3の3次元画像生成装置2は、前記実施例1及び実施例2で説明したような手順で前記DFDに表示する画像を生成する。すなわち、前記3次元画像生成装置2では、従来のような物体の正確な3次元形状を求める処理を行わなくてよい。そのため、高い処理能力がない装置でも、前記DFDに表示する画像を高速に、かつ、容易に生成することができる。

【0107】

また、本実施例3の3次元画像生成装置2は、例えば、コンピュータと前記コンピュータに実行させるプログラムによっても実現することができる。その場合、前記実施例1で説明した処理手順、もしくは前記実施例2で説明した処理手順に相当する命令が記述されたプログラムを前記コンピュータに実行させればよい。またこのとき、前記プログラムは、例えば、磁気的、電気的、光学的な記録媒体に記録して提供してもよいし、インターネット等のネットワークを利用して提供してもよい。

【0108】

また、本実施例3の3次元画像生成装置2を用いた画像表示システムは、例えば、図18に示すような構成が考えられる。このとき、前記被写体画像撮影手段4は、観察者Userが前記画像表示手段（DFD）3を観察している空間に近い場所に設置されていてもよいし、地理的に遠隔な場所に設置されていてもよい。前記被写体画像撮影手段4が地理的に遠隔な場所に設置されている場合、撮影した画像は、インターネット等のネットワークを利用して、前記3次元画像生成装置2に転送すればよい。

【0109】

また、本実施例3の3次元画像生成装置2を用いた画像表示システムは、図18に示したように、ある観察者Userが、ある被写体Objを観察する場合だけでなく、テレビ電話やテレビ会議といった双方方向の通信システムに適用することもできる。その場合、例えば、図19に示すように、各観察者UserA, UserBがいる空間のそれぞれに、3次元画像生成装置2A, 2B、画像表示手段（DFD）3A, 3B、被写体画像撮影手段4A, 4B、基準視点設定手段5A, 5Bを設置すればよい。そして、例えば、前記各観察者UserA, UserBがいる空間に設置された3次元画像生成装置2A, 2Bを、インターネット等のネットワークで接続しておけば、観察者UserAは、被写体画像撮影手段4Bで撮影された画像から生成した観察者UserBの3次元像を前記画像表示手段3Aで観察することができる。同様に、観察者UserBは、被写体画像撮影手段4Aで撮影された画像から生成した観察者UserAの3次元像を前記画像表示手段3Bで観察することができる。

【0110】

また、このような双方方向の通信システムに適用する場合、前記各3次元画像生成手段2A, 2Bが、図19に示したような構成になっている必要はなく、前記3次元画像生成装置2A, 2Bのどちらかは、図19に示したような構成手段を備えていない一般的な通信端末であってもよい。また、図19に示したような各構成手段が、前記3次元画像生成装置2A, 2Bに割り振られていてもよい。

【0111】

また、図19に示したように、ネットワーク6上に他の3次元画像生成装置2Cが設けられていれば、前記観察者UserA, UserBがいる空間に、前記3次元画像生成装置2A, 2Bが設置されていなくても、前記ネットワーク6上の画像生成装置2Cを利用して、前記画像表示手段（DFD）3A, 3Bで表示する物体の3次元像を取得することができる。

【0112】

また、図18及び図19では、前記被写体画像撮影手段4は、カメラが複数個設けられているシステムを示しているが、前記実施例2で説明したように、合焦距離が異なる画像

から物体の3次元的な形状を取得するときは、例えば、図20に示すように、表示画像を生成するときには、カメラが1つであってもよい。

【0113】

以上、本発明を、前記実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において、種々変更可能であることはもちろんである。

【0114】

例えば、前記実施例1では、視点が異なる画像から物体の3次元像を表示する方法について説明し、前記実施例2では、焦点位置が異なる画像から物体の3次元像を表示する方法について説明したが、これらの方法を組み合わせて物体の3次元像を表示させてもよい。その場合、ある投影点T_jについて、視点が異なる画像の対応点から相関度を求め、ある視点から焦点位置を変えた画像の対応点から局所空間周波数を求め、それらを組み合わせて存在確率β_jを求める。こうすると、前記存在確率β_jの信頼性が高くなり、観察者の見た目により自然な画像を表示することができる。

【0115】

(参考文献)

1. A.P.Pentland: "A New Sense for Depth of Field," IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.PAMI-9, No.4, pp.523-531(1987).
2. Murali Subbarao and gopal Surya: "Depth from Defocus: A Spatial Domain Approach," International Journal of Computer Vision, 13, 3, pp.271-294, Kluwer Academic Publishers.
3. 石原満宏, 佐々木博美：“合焦法による高速3次元形状計測”, 精密工学会誌, Vol. 63, No.1, pp.124-128, 精密工学会.
4. 大場光太朗, 山田茂：“実時間全焦点顕微鏡カメラ”, O plus E, Vol.22, No.12, p p. 1568-1576, 2000, 新技術コミュニケーションズ.
5. 特開2000-258738号公報
6. 特許第3303275号明細書

【図面の簡単な説明】

【0116】

【図1】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、全体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

【図2】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影面の設定方法の一例を示す図である。

【図3】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影面の設定方法の一例を示す図である。

【図4】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影点の設定方法を説明する図である。

【図5】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影点と対応点の座標関係を説明する図である。

【図6】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの処理手順の一例を示すフロー図である。

【図7】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、存在確率の決定方法を説明する図である。

【図8】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、存在確率の決定方法を説明する図である。

【図9】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、存在確率の決定方法を説明する図である。

【図10】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、各画像表示面で表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

【図11】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、各画像表示面で表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

【図12】本発明による実施例1の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、各画像表示面で表示する2次元画像の生成方法を説明する図である。

【図13】本発明による実施例2の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影点と対応点の関係を示す図である。

【図14】本発明による実施例2の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、投影点の色情報及び存在確率を決定するステップの一例を示すフロー図である。

【図15】本発明による実施例2の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、存在確率の求め方を説明する図である。

【図16】本発明による実施例2の3次元画像表示方法を説明するための模式図であり、存在確率の求め方を説明する図である。

【図17】本発明による実施例3の3次元画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、装置の構成を示すブロック図である。

【図18】本発明による実施例3の3次元画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、3次元画像生成装置を用いた画像表示システムの構成例を示す図である。

【図19】本発明による実施例3の3次元画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、3次元画像生成装置を用いた画像表示システムの構成例を示す図である。

【図20】本発明による実施例3の3次元画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、3次元画像生成装置を用いた画像表示システムの構成例を示す図である。

【符号の説明】

【0117】

2, 2A, 2B, 2C…3次元画像生成装置

201…被写体画像取得手段

202…観察者視点設定手段

203…投影面等設定手段

204…テクスチャ配列確保手段

205…色情報／存在確率決定手段

206…投影面情報－表示面情報変換手段

207…画像出力手段

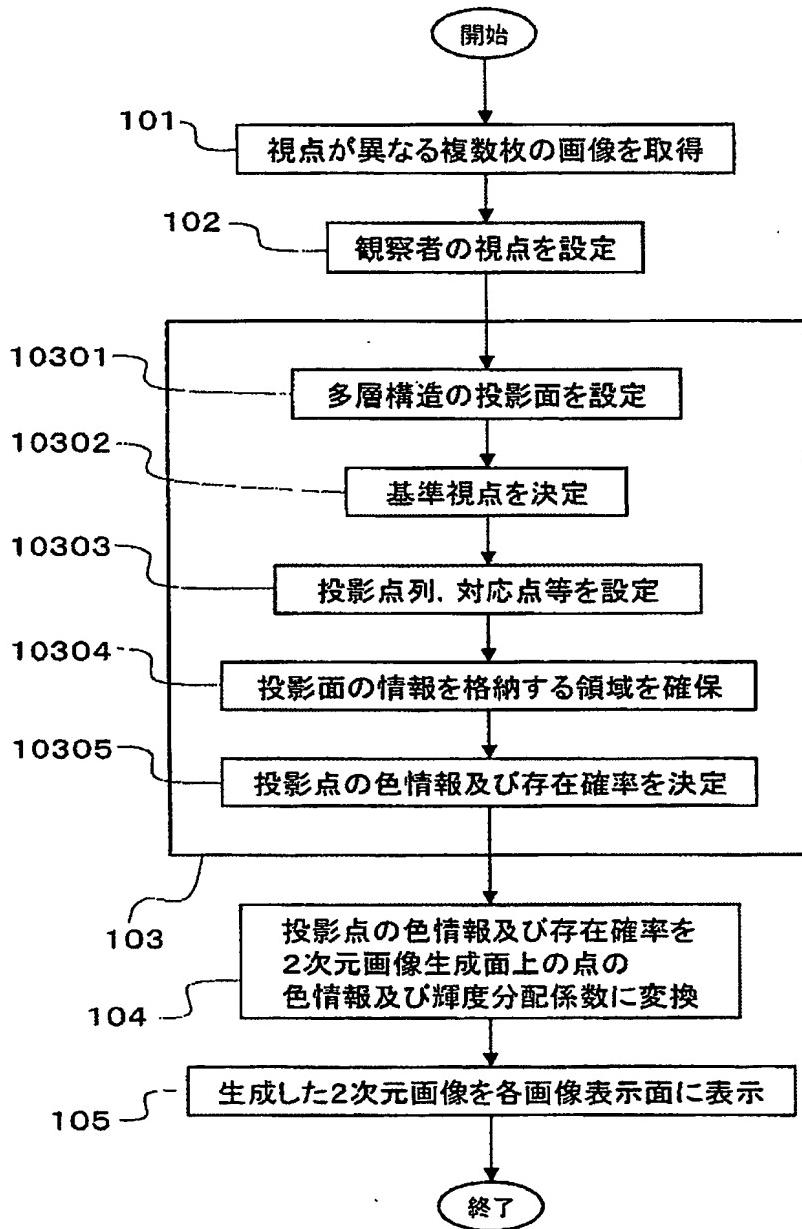
3, 3A, 3B…画像表示手段

4, 4A, 4B…被写体画像撮影手段

5, 5A, 5B…基準視点入力手段

【書類名】図面
【図1】

図1



【図2】

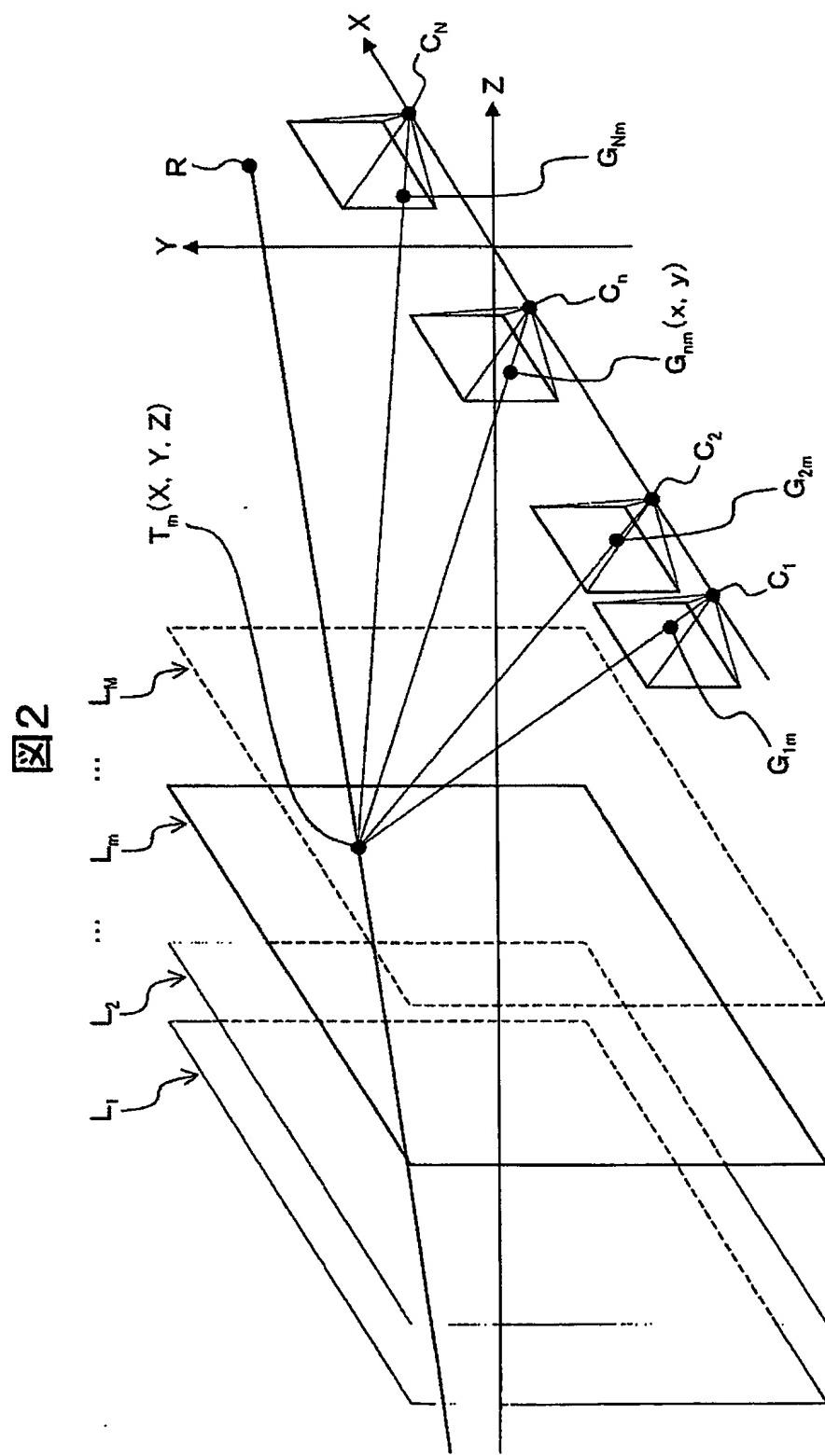
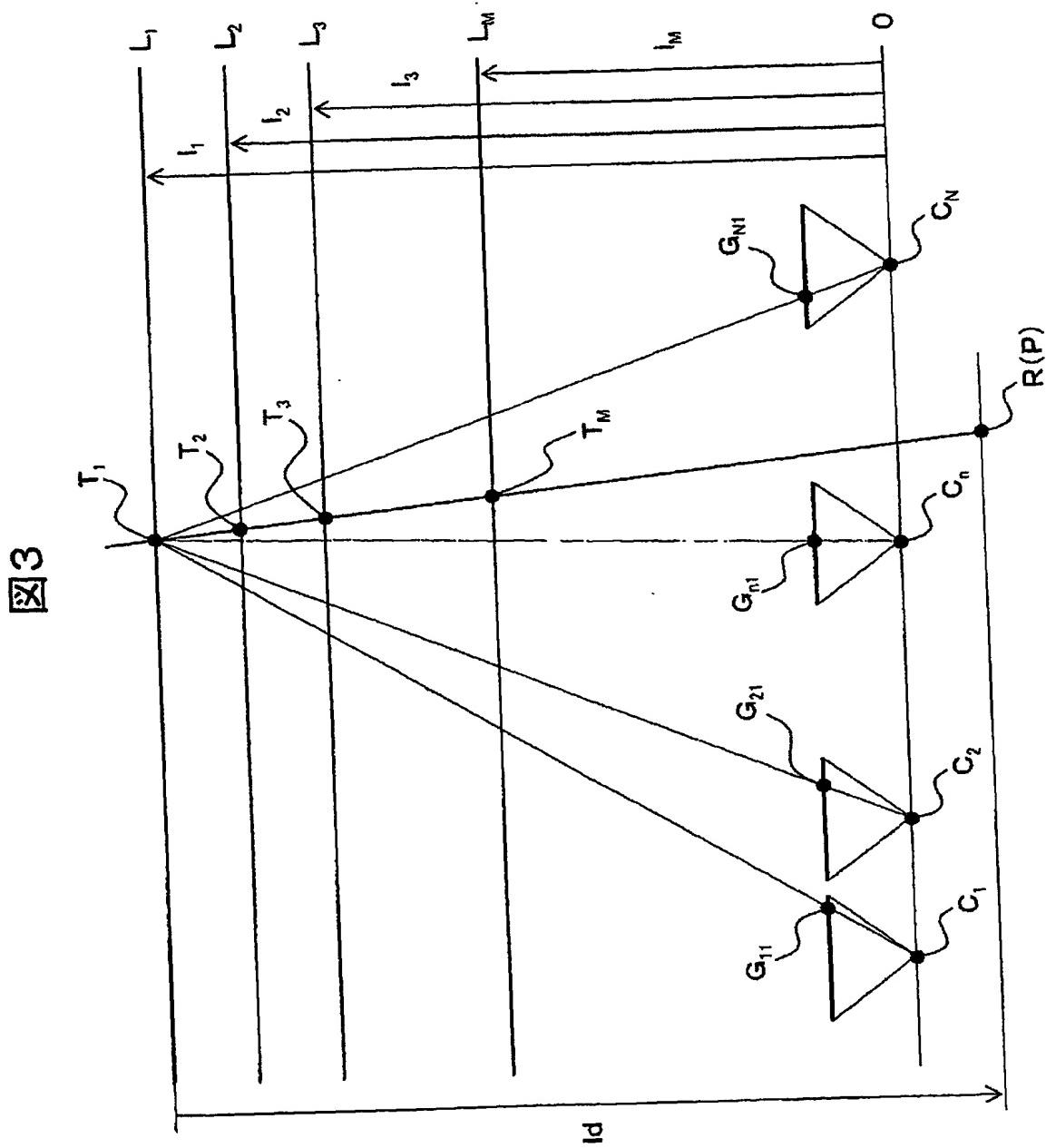


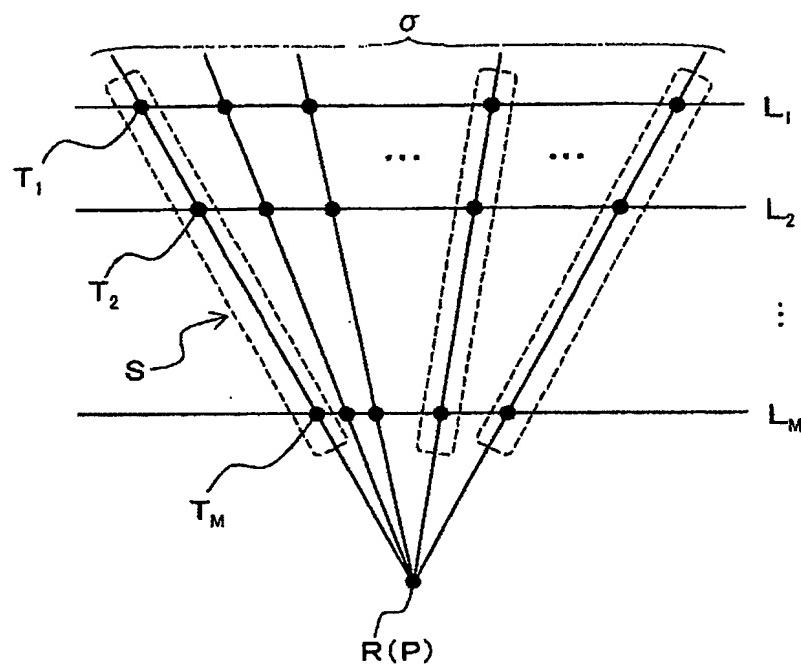
図2

【図3】



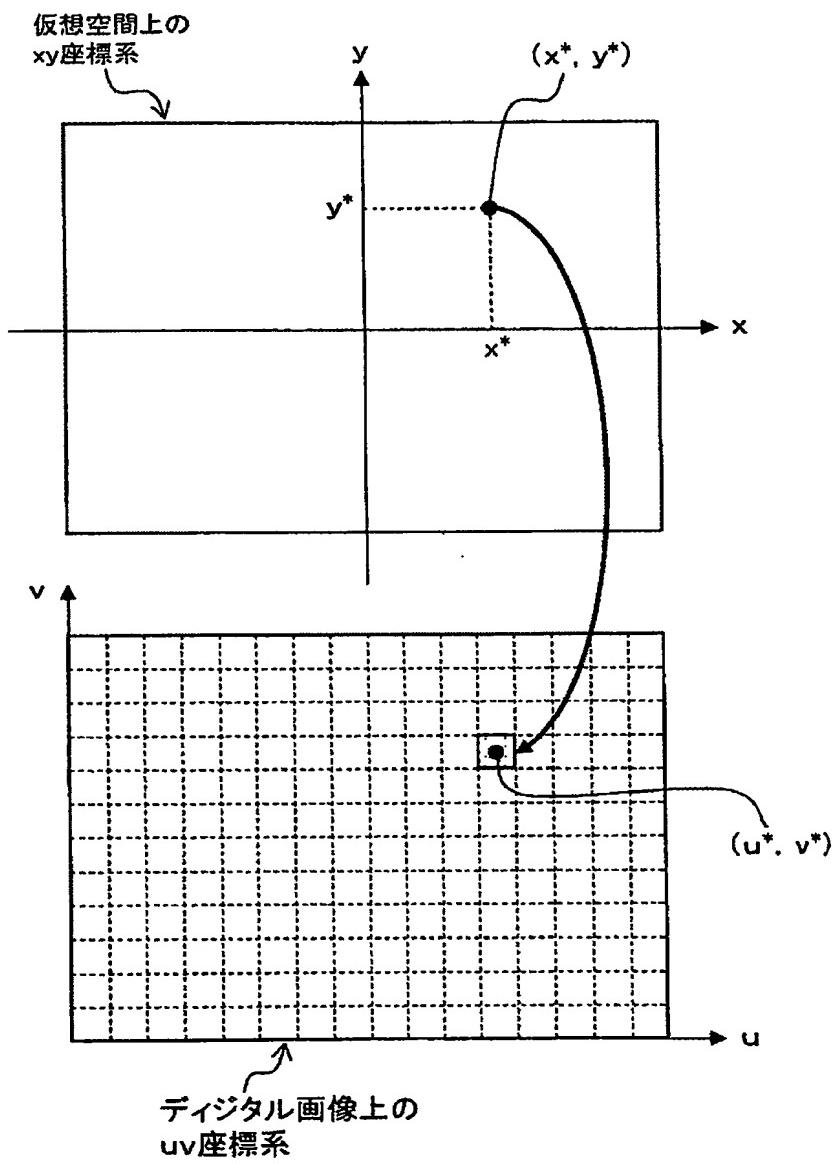
【図4】

図4



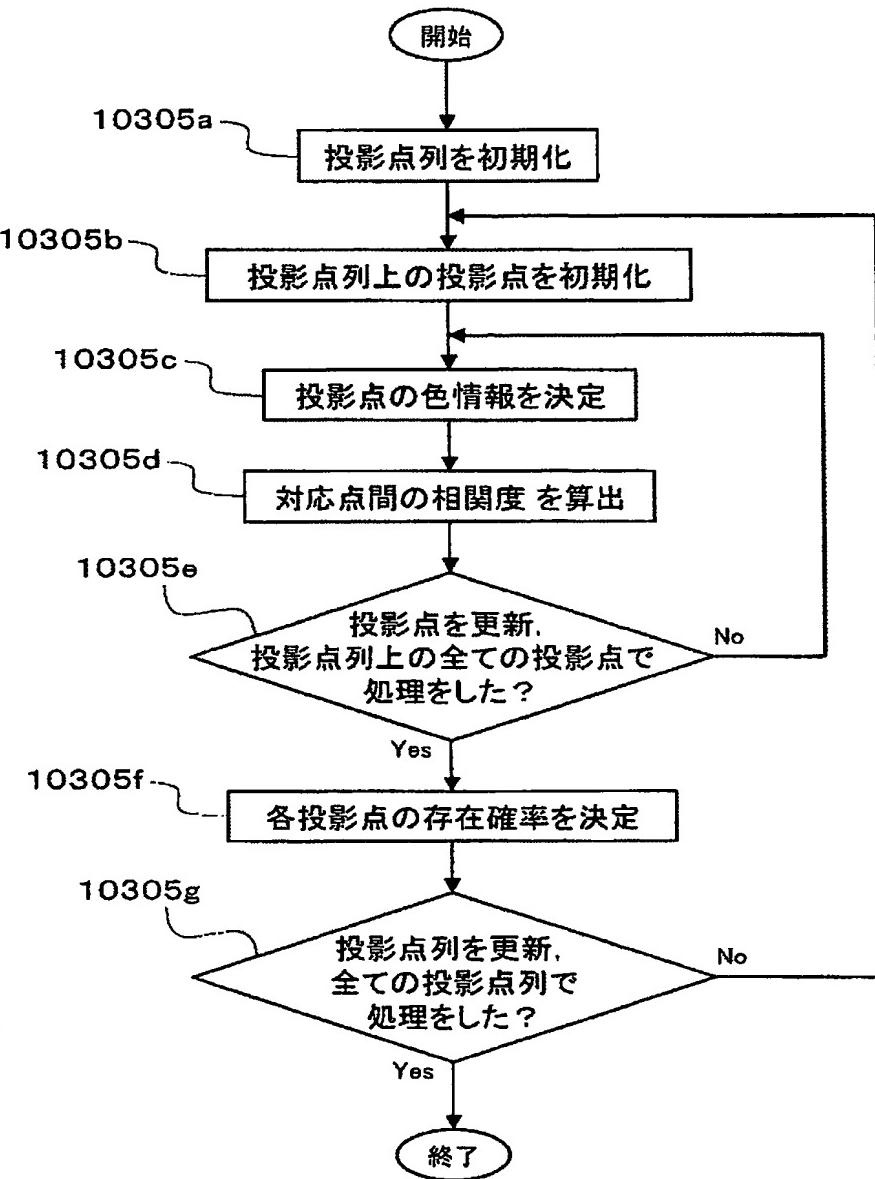
【図5】

図5



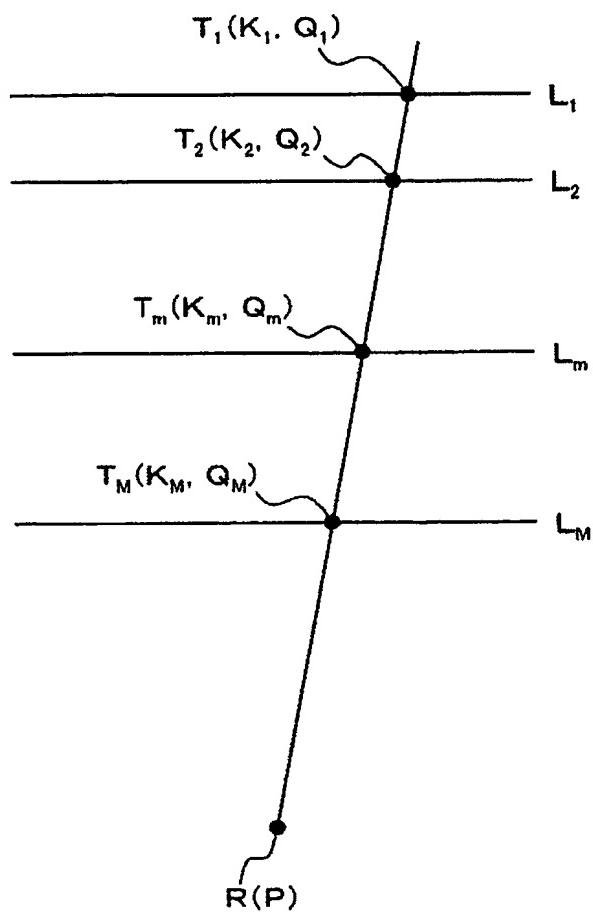
【図6】

図6



【図7】

図7

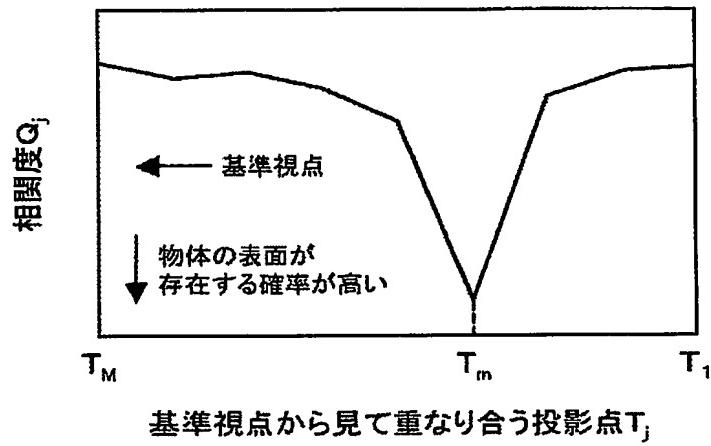


【図8】

図8

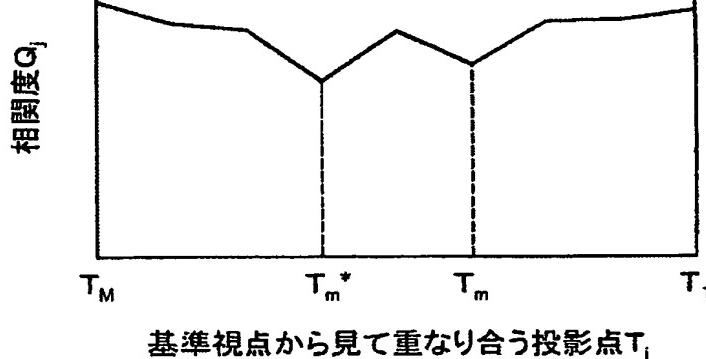
(a)

(推定した距離の信頼性が高い例)



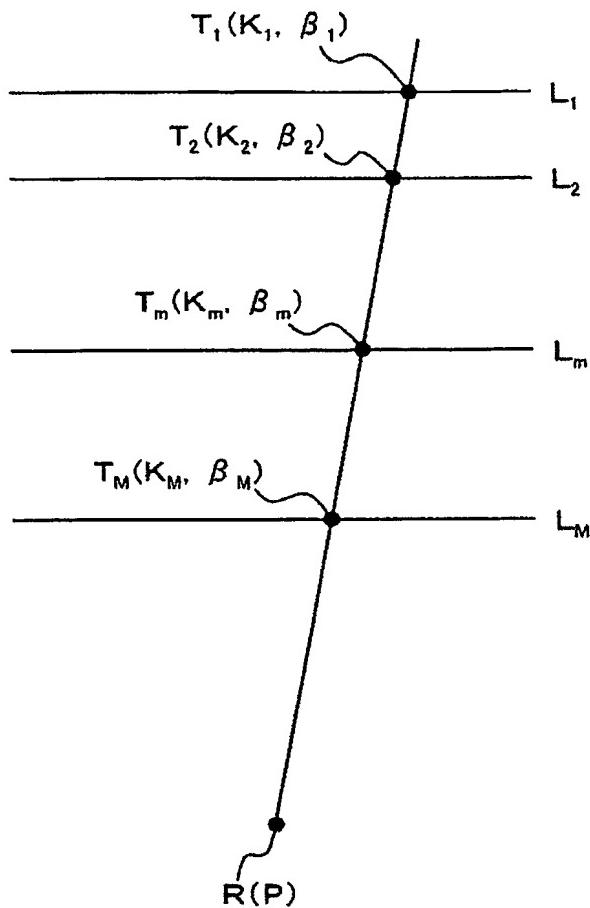
(b)

(推定した距離の信頼性が低い例)



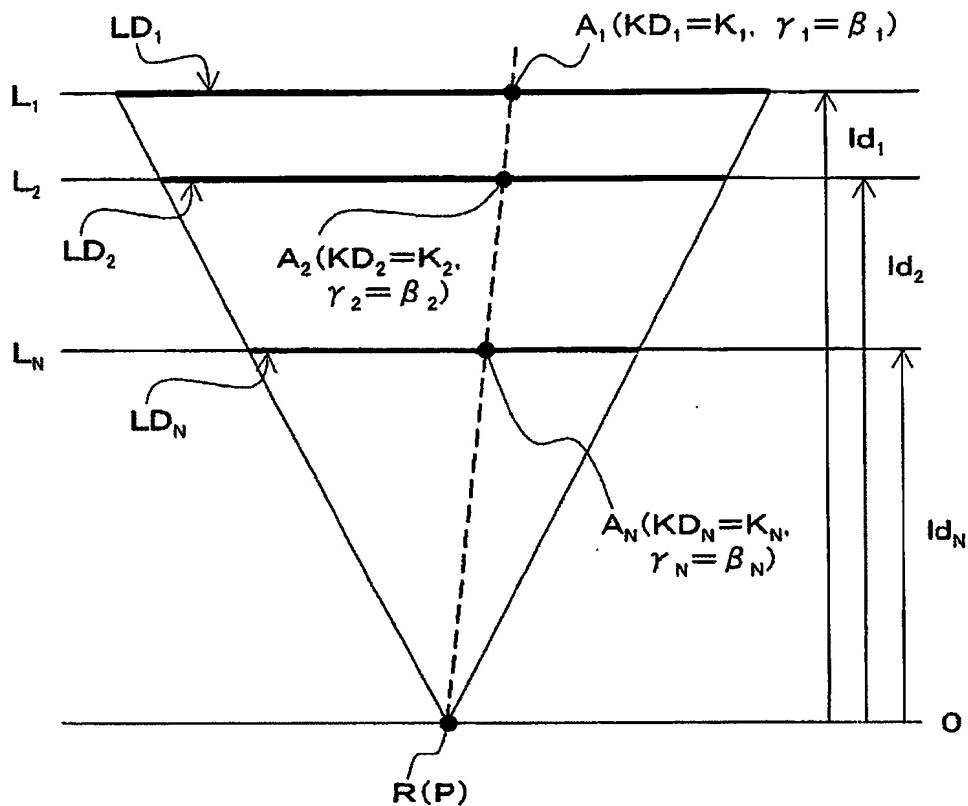
【図9】

図9



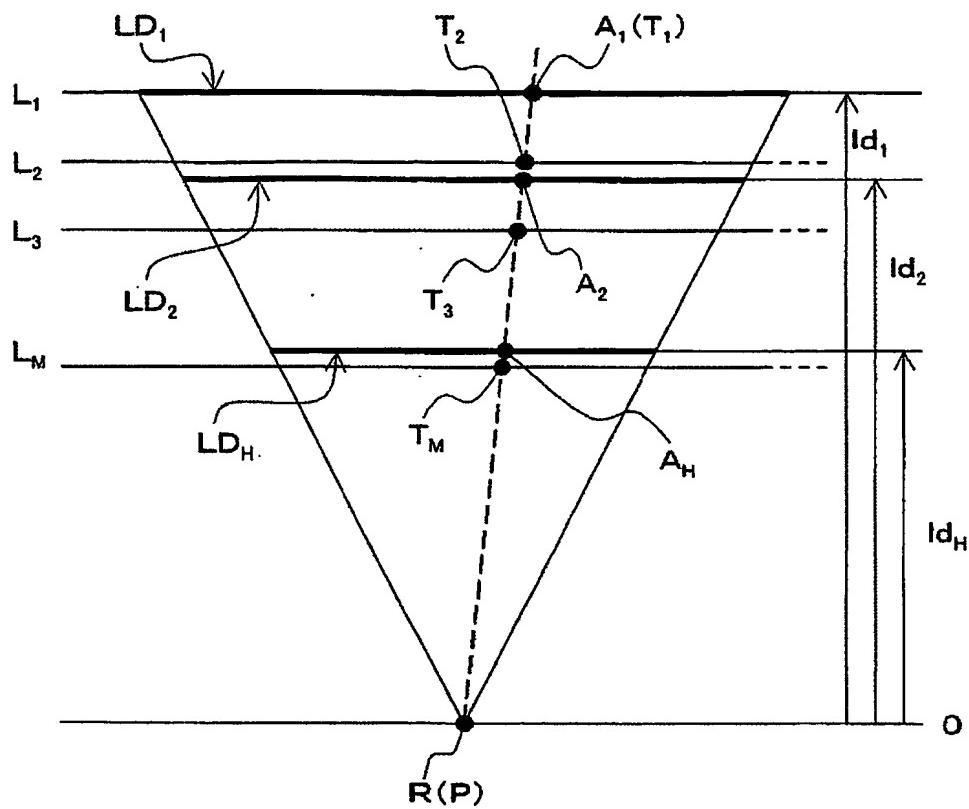
【図10】

図10



【図11】

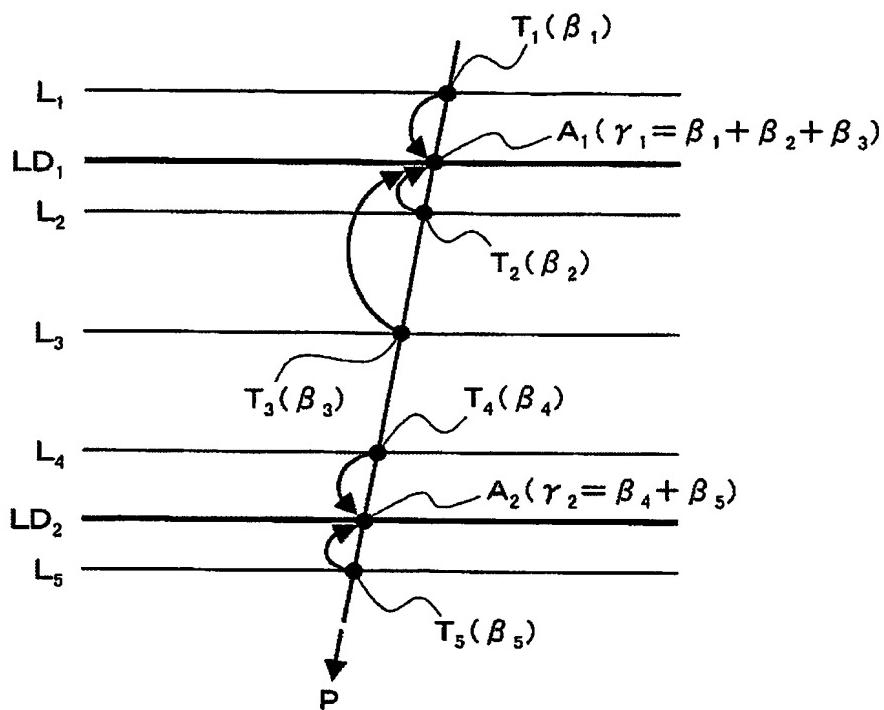
図11



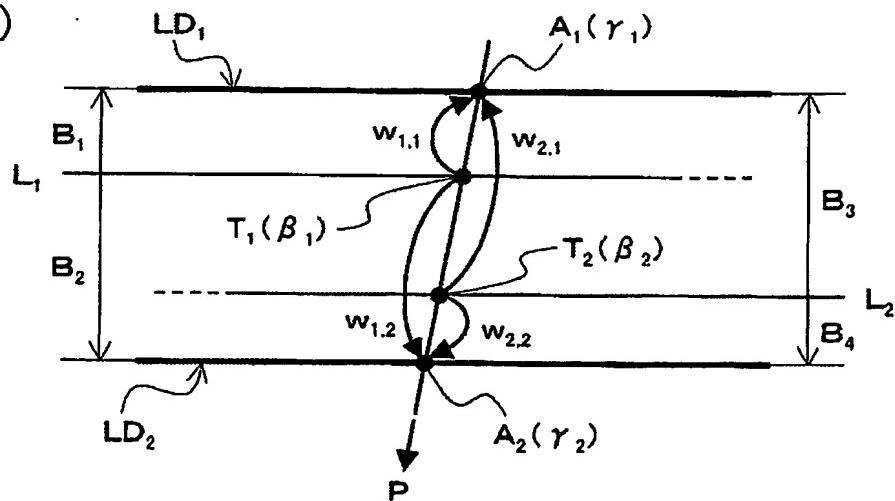
【図12】

図12

(a)

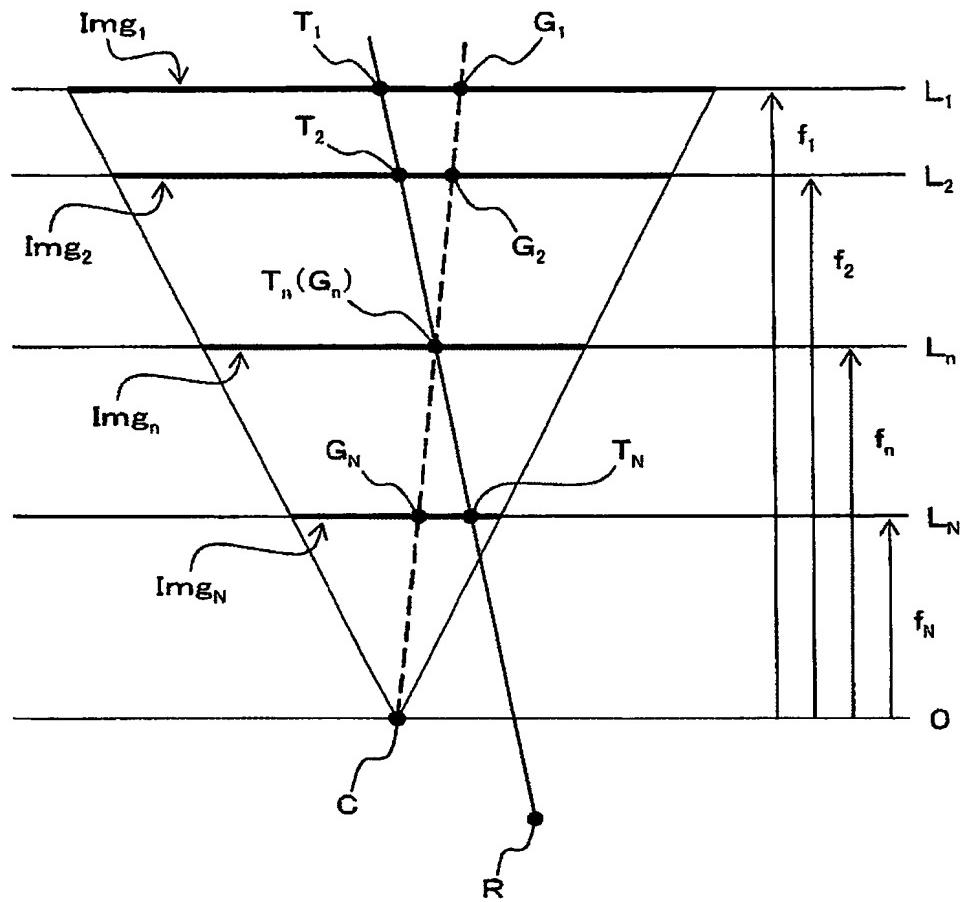


(b)



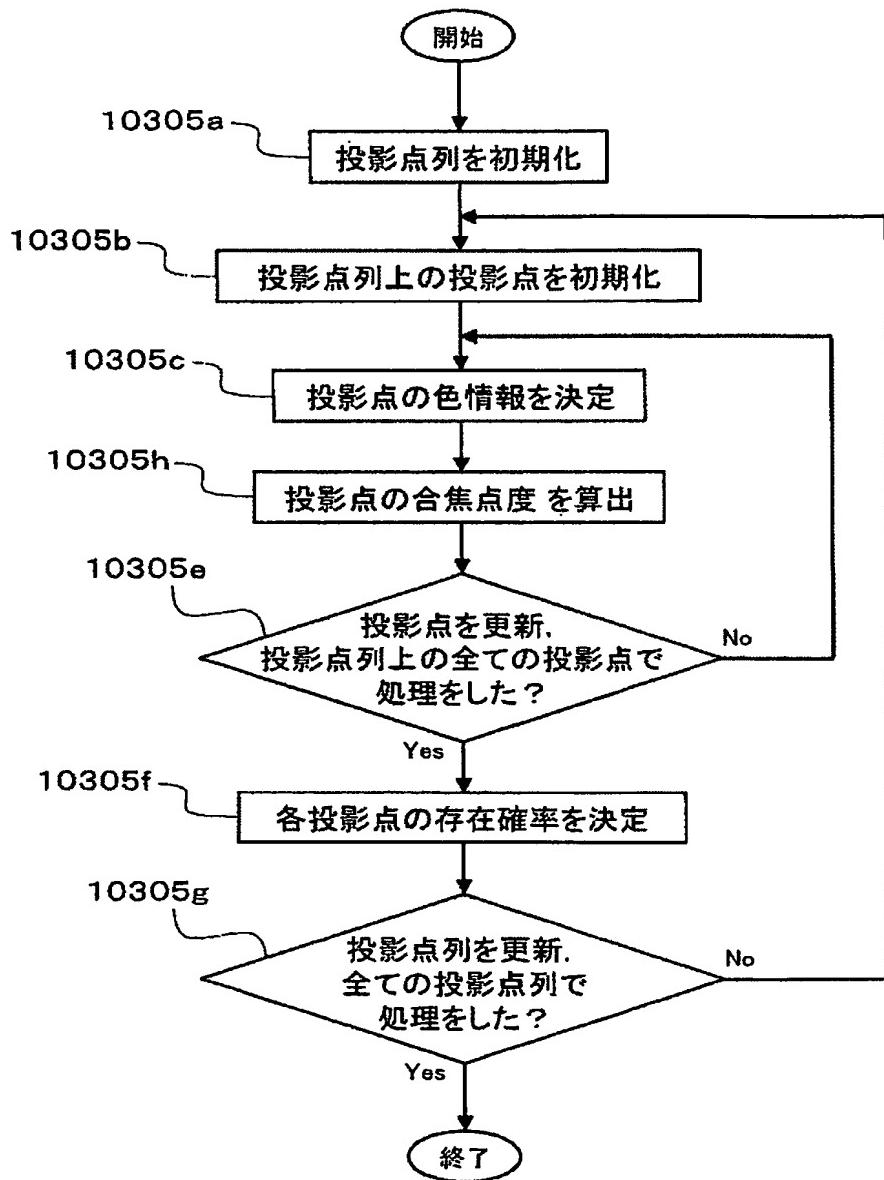
【図13】

図13



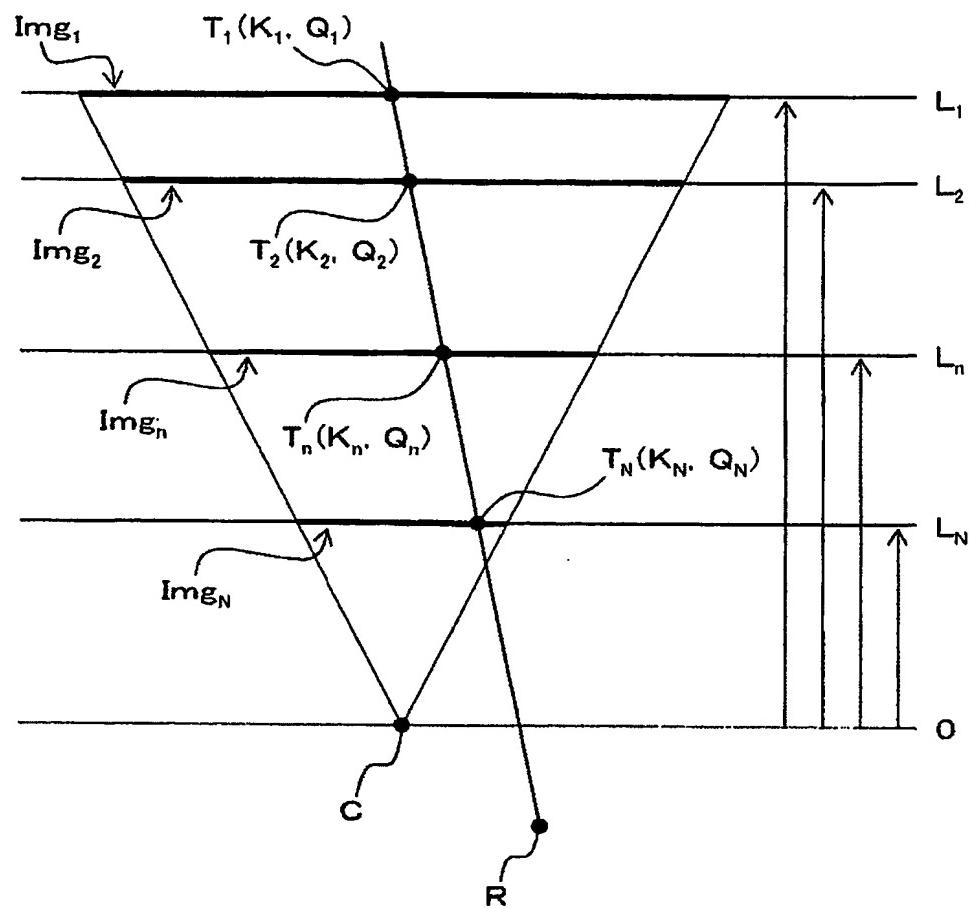
【図14】

図14



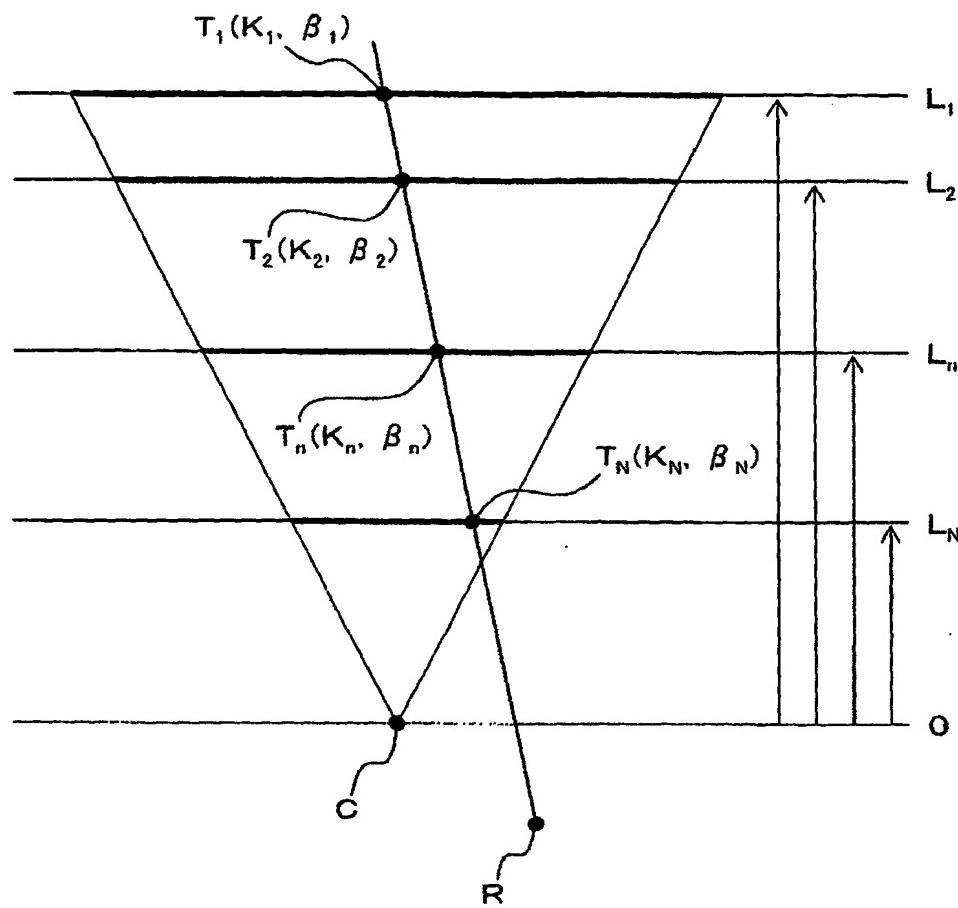
【図15】

図15



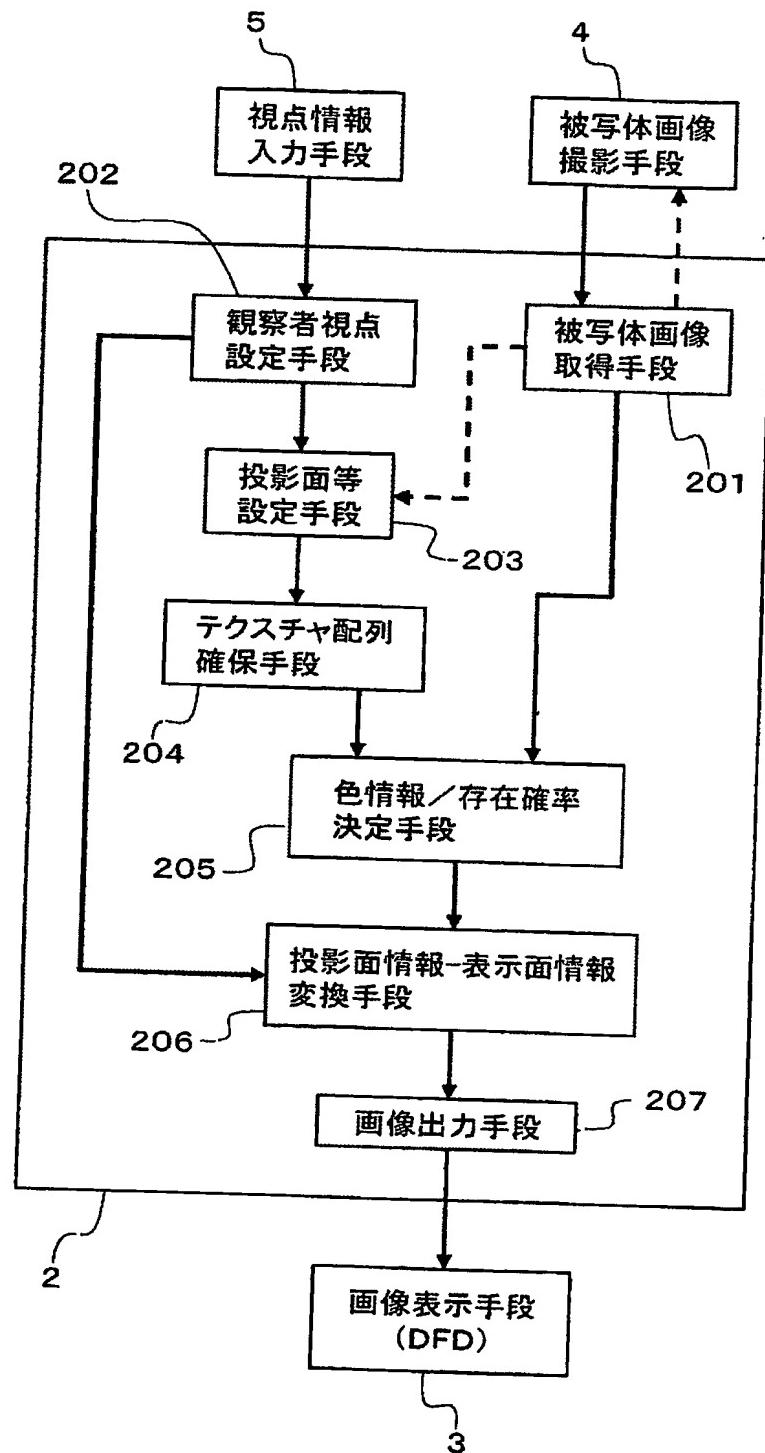
【図16】

図16



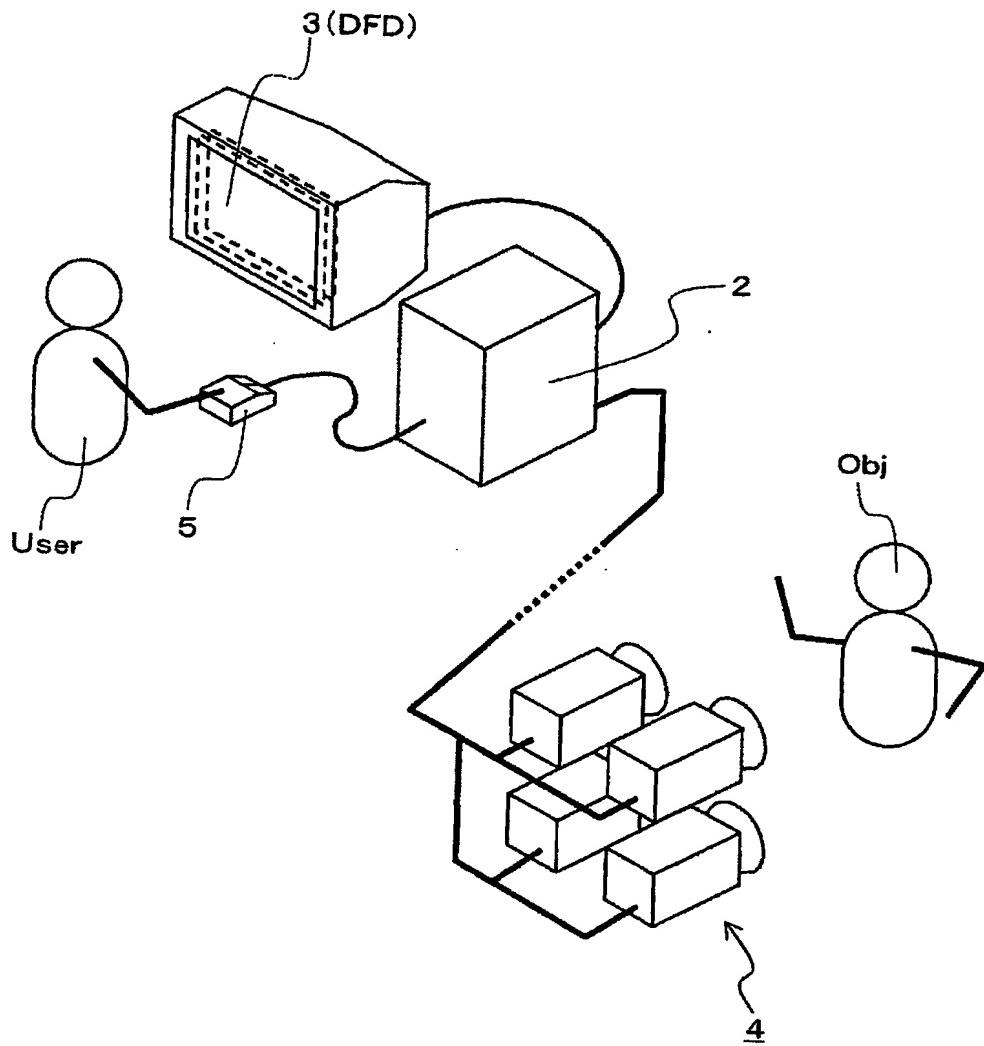
【図17】

図17



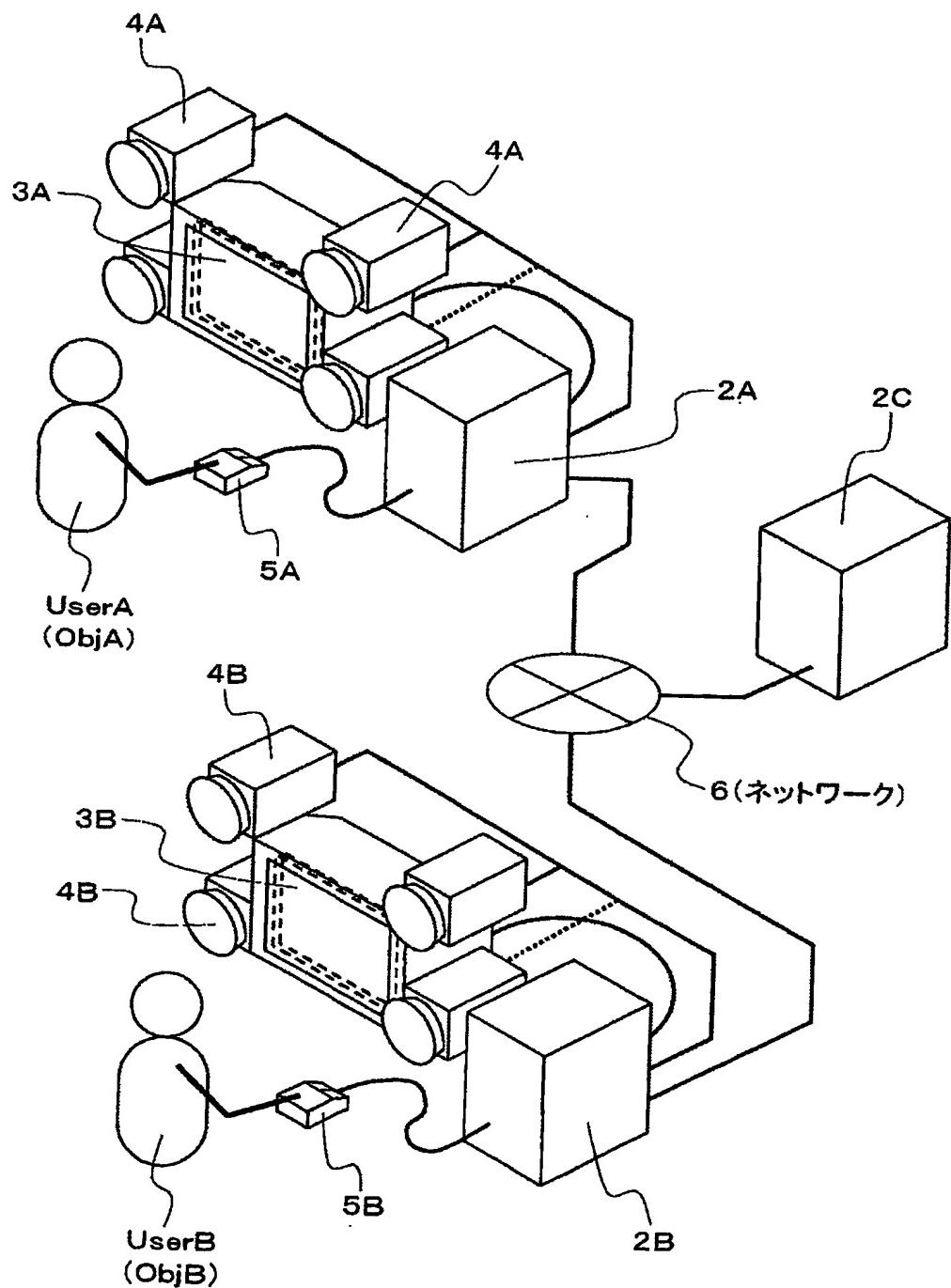
【図18】

図18



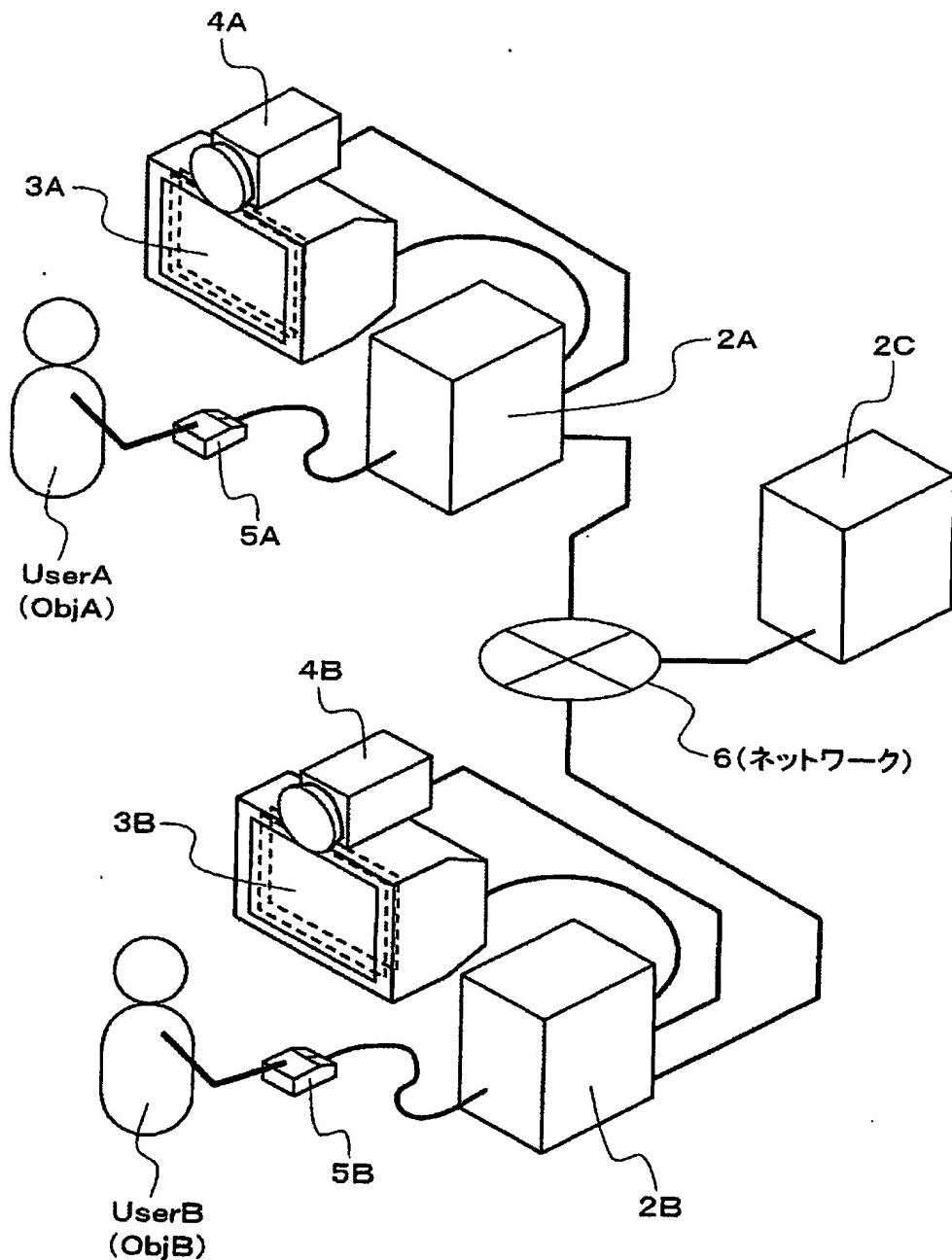
【図19】

図19



【図20】

図20



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 DFDを用いて、撮影条件が異なる複数枚の画像から3次元形状を取得した被写体（物体）の3次元像を表示するときに、前記被写体の正確な3次元形状を求めなくとも、見た目に自然な画像を表示する。

【解決手段】 異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、観察者から見て異なった奥行き位置にある複数の画像表示面を前記観察者が見る視点位置を設定するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて前記各画像表示面に表示する2次元画像を生成するステップと、前記生成した2次元画像を前記各表示面に表示することで前記被写体の3次元像を提示するステップとを有する3次元画像表示方法であって、前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点（投影点）と対応する前記取得した画像上の点（対応点）の色情報から、前記投影点の色情報を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点に対して、前記各投影点上に被写体の表面が存在する確率（存在確率）を決定するステップとを有し、前記2次元画像を生成するステップは、前記投影点の色情報及び存在確率を、前記投影点が存在する投影面と対応する前記画像表示面上の点（表示点）の色情報及び存在確率に変換して前記2次元画像を生成し、前記被写体の3次元像を提示するステップは、前記各表示点の色情報を、前記存在確率に応じた輝度で表示する。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2004-016551
受付番号	50400119060
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成16年 1月27日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成16年 1月26日

特願 2004-016551

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
氏名 日本電信電話株式会社